

بحوث العمليات

دكتور مهندس / أبو القاسم مسعود الشيخ



Production

Marketing

Liner programming

Critical path analysis

Financial control

منتدى سور الأزبكية

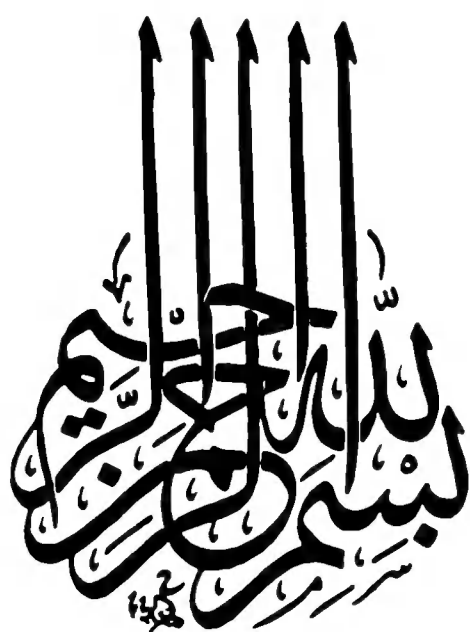
WWW.BOOKS4ALL.NET

<https://twitter.com/SourAlAzbakya>

<https://www.facebook.com/books4all.net>



مخوف العمليات



بحوث العمليات

تأليف

أ.د. أبو القاسم مسعود الشيخ

الناشر

المجموعة العربية للتدريب والنشر



2009

عنوان الكتاب: بحوث العمليات
تأليف: أ.د. أبو القاسم مسعود الشيخ
رقم الإيداع: 2008/23056
الترقيم الدولي: 978-977-6298-11-8

حقوق الطبع محفوظة للناشر

الطبعة الثانية

1430 هـ - 2009 م

لا يجوز نشر أي جزء من هذا الكتاب أو اختزان مادته بطريقة الاسترجاع أو نقله على أي نحو أو بأية طريقة سواء كانت إلكترونية أو ميكانيكية أو خلاف ذلك إلا بموافقة الناشر على هذا كتابة ومقدما.

الناشر

المجموعة العربية للتدريب والنشر



8 شارع أحمد فخري - مدينة نصر - القاهرة - مصر

تليفاكس، 22759945 - 22739110 (00202)

الموقع الإلكتروني: www.elarabgroup.net

E-mail: elarabgroup@yahoo.com

info@elarabgroup.net

المحتويات

| الموضوع | الصفحة |
|--|-----------|
| التمهيد | 13 |
| الفصل الأول : بحوث العمليات | 15 |
| 1.1 مقدمة | 17 |
| 1.2 تطبيقات بحوث العمليات | 20 |
| الفصل الثاني : البرمجة الخطية | 23 |
| 2.1 مقدمة | 25 |
| 2.2 تعريف مفردات البرمجة الخطية | 26 |
| 2.3 خطوات صياغة مسائل البرمجة الخطية | 28 |
| 2.4 النموذج العام لأنماط البرمجة الخطية | 30 |
| 2.5 تحقيق أنماط البرمجة الخطية | 31 |
| الفصل الثالث : صياغة مسائل البرمجة الخطية | 33 |
| 3.1 مقدمة | 35 |
| 3.2 شروط عدم السلبية | 37 |
| 3.3 مسائل | 47 |

53 الفصل الرابع : استخدام الطريقة البيانيت في حل نموذج البرمجة الخطية

- 4.1 مقدمة 55
- 4.2 أمثلة على كيفية تمثيل القيود بواسطة الرسم البياني 55
- 4.3 بعض التعريفات المتعلقة بطريقة الرسم البياني 67
- 4.4 مسائل 68

الفصل الخامس :

73 طرق حل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكس

- 5.1 مقدمة 75
- 5.2 الخطوات الأساسية في تطبيق طريقة السمبلكس 76
- 5.3 أمثلة تطبيقية 77
- 5.4 الخطوات الأساسية لطريقة السمبلكس 89
- 5.5 مسائل 90

الفصل السادس : طرق حل مسائل البرمجة الخطية بواسطة

93 طريقة السمبلكس بشكل الجداول

- 6-1 مقدمة 95
- 6-2 حل مسائل البرمجة الخطية بطريقة جداول السمبلكس 98
- 6.3 الخطوات الأساسية لطريقة السمبلكس 99
- 6.4 طريقة القيمة الكبرى M لحل مسائل البرمجة الخطية 102
- 6.5 بعض الظواهر الشاذة لحل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكس 114
- 6.6 دراسة حالة (مصنع الورق المقوي بالزهرء) 115
- 6.7 الخلاصة 149
- 6.8 مسائل 151

157 الفصل السابع: النموذج الثاني لمسائل البرمجة الخطية

| | |
|-----|--|
| 159 | 7.1 مقدمة |
| 163 | 7.2 العلاقة بين النموذج الأولي والنموذج الثاني |
| 167 | 7.3 أهمية العلاقة بين النموذج الأولي والنموذج الثاني وحساباتها |
| 170 | 7.4 طرق حساب النموذج الأولي والثاني |
| 171 | 7.4.1 طرق حساب قيود الأعمدة |
| 172 | 7.4.2 طريقة حساب صف دالة الهدف |
| 173 | 7.4.3 ملخص طريقة حساب النموذج الأولي - الثاني |
| 173 | 7.4.4 التفسير الاقتصادي لمعنى النموذج الثاني |
| 175 | 7.5 طريقة حل المسائل الثنائية بواسطة السمبلكس |
| 180 | 7.6 تحليل الحساسية |
| 193 | 7.7 مسائل |

197 الفصل الثامن: مشكلة النقل

| | |
|-----|--|
| 199 | 8.1 مقدمة |
| 205 | 8.2 طرق حل مشكلة النقل |
| 206 | 8.2.1 طريقة حساب الحل الابتدائي |
| 209 | 8.2.2 طريقة حساب تحديد المتغير الذي يدخل لتحسين الحل |
| 211 | 8.2.3 طريقة حساب تحديد المتغير الذي يخرج من الحل الأساسي |
| 215 | 8.2.4 طرق تحسين الحل الابتدائي |
| 218 | 8.3 نموذج التعيين |
| 228 | 8.4 مسائل |

233 الفصل التاسع: برمجة الأعداد الصحيحة

- 235 9.1 مقدمة
- 239 9.2 طرق حل البرمجة الخطية للأعداد الصحيحة
- 242 9.3 طريقة حل البرمجة الخطية للأعداد الصحيحة بواسطة التوزيع والنظم
- 243 9.4 مسائل

249 الفصل العاشر: تخطيط المشروع

- 251 10.1 مقدمة
- 253 10.2 تمثيل الأنشطة بواسطة الأسهم
- 253 10.3 قواعد استخدام الأسهم في بناء الشبكات التخطيطية
- 261 10.4 طرق حساب الخط التحكمي
- 266 10.5 طرق حساب الزمن الزائد
- 268 10.6 بناء خرائط الزمن ومستوى المصادر
- 271 10.7 طرق حساب تخطيط المشروعات بواسطة الإحصاء
- 273 10.8 إدخال التكلفة في جدول المشروع
- 283 10.9 التحكم في المشروع
- 284 10.10 مسائل

291 الفصل الحادي عشر: نظام التحكم بالتخزين

- 293 11.1 مقدمة
- 293 11.2 المجالات التي يشغلها نظام التحكم بالتخزين
- 294 11.3 أهداف نظام التحكم بالتخزين
- 294 11.4 شروط نظام التحكم بالتخزين
- 295 11.5 دور وأهمية نظام التحكم بالتخزين

| | |
|-----|--|
| 297 | 11.6 هيكلية نظام التخزين |
| 298 | 11.7 النموذج العام لنظام التخزين |
| 299 | 11.7.1 تكلفة المنتج الواحد |
| 300 | 11.7.2 تكلفة حفظ المخزون |
| 300 | 11.7.3 تكلفة إعداد الطلبية |
| 301 | 11.7.4 تكلفة فقدان المخزون |
| 301 | 11.7.5 الطلبية |
| 302 | 11.8 بعض التعريفات المهمة في نظام التخزين |
| 302 | 11.9 نمط طلب الكمية الاقتصادية |
| 306 | 11.10 نمط طلب الكمية الاقتصادية مع استمرار الاستهلاك |
| 308 | 11.11 نمط طلب الكمية الاقتصادية مع السماح بفقدان المخزون |
| 312 | 11.12 أنماط التخزين المعتمدة على تغير أسعار المواد المخزونة |
| 316 | 11.13 نموذج الطلبية الاقتصادية عندما تكون الفترة الزمنية ثابتة |
| 320 | 11.14 دراسة حالة (مخزون الإطارات باسركة العامة للشاحنات) |
| 321 | 11.14.1 حساب تكاليف التخزين للإطارات |
| 326 | 11.14.2 إيجاد الكمية الاقتصادي (Q) للطلبية حسابياً |
| 327 | 11.14.3 إيجاد الكمية الاقتصادي (Q) للطلبية بيانياً |
| 331 | 11.14.4 تكاليف تخزين الإطارات خلال سنة 1995 إفرنجي |
| 334 | 11.15 مسائل |

339 الفصل الثاني عشر: نظرية نظام خطوط الانتظار

| | |
|-----|-------------------------------|
| 341 | 12.1 مقدمة |
| 341 | 12.2 مشكلة نظام خطوط الانتظار |
| 342 | 12.3 مواصفات خطوط الانتظار |

| | |
|------------|--|
| 342 | 12.3.1 مصدر العينات |
| 343 | 12.3.2 مواصفات الواصلين |
| 343 | 12.3.3 نمط الواصلين |
| 348 | 12.3.4 مواصفات خطوط الانتظار الطبيعية |
| 349 | 12.3.5 الاختيار في خطوط الانتظار |
| 349 | 12.3.6 مواصفات محطة الخدمة |
| 350 | 12.3.7 الخروج |
| 351 | 12.4 تطبيقات الأنماط الرياضية لخط الانتظار |
| 362 | 12.5 مسائل |
| 365 | الفصل الثالث عشر : المحاكاة |
| 367 | 13.1 مقدمة |
| 367 | 13.2 أهداف تطبيقات المحاكاة |
| 368 | 13.3 خطوات تطبيق المحاكاة |
| 369 | 13.4 أشكال المحاكاة |
| 371 | 13.5 إيجاد متغيرات عشوائية بواسطة توزيع الاحتمالات |
| 371 | 13.5.1 التوزيع المنتظم |
| 372 | 13.5.2 التوزيع الأسي |
| 373 | 13.6 مثال تطبيقي للمحاكاة |
| 375 | 13.7 أنواع المحاكاة بالحاسوب |
| 376 | 13.8 مثال تطبيقي |
| 380 | 13.9 تطبيقات المحاكاة |
| 380 | 13.10 مسائل |

383 الفصل الرابع عشر : نظرية المباريات

- 385 14.1 مقدمة
- 386 14.2 الحل الأمثل للمباريات الثنائية ذات المحصلة الصفرية
- 389 14.3 الخطط المختلطة
- 391 14.4 طريقة حل مسائل الخطة المختلطة ($2 \times n$) و ($m \times 2$) بواسطة الرسم البياني
- 397 14.5 حل المباريات ($m \times n$) بواسطة البرمجة الخطية
- 403 14.6 مسائل

407 الفصل الخامس عشر : برمجة الأهداف المتعددة

- 409 15.1 مقدمة
- 409 15.2 برمجة الأهداف المتعددة
- 414 15.3 طريقة حل برمجة الأهداف المتعددة بواسطة طريقة السمبلكس
- 420 15.4 مسائل

423 المراجع

425 قائمة المصطلحات

435 الملاحق

مُهَيِّدٌ

يتسم عالم اليوم بالاتساع والشمولية والصعوبة المتأتية أصلاً من ندرة الموارد، وازدياد الطلب، وتعاظم المشكلات الصناعية والتجارية، واشتداد المنافسة. ولا عجب إذن أن يُكرس علماء الإدارة الصناعية خصوصاً، وخبراء الإنتاج والرقابة الإنتاجية، النوعية والكمية، جل اهتمامهم، لدراسة المشكلات العملية لتحقيق الاستغلال الأمثل للموارد المتاحة للأهداف المحددة.

لقد وجدت الصناعة، مثلاً، أن كثيراً من التقنيات الرياضية المطورة تنطبق بصورة خاصة على المشكلات التي تواجهها. فالتقنيات الرياضية مثل البرمجة الخطية (Linear programming) وتحليل المسار الحرج (Critical path Analysis)، ونظرية اتخاذ القرارات تساعد جميعاً على تحديد الحل الأمثل لكثير من الاحتمالات. وقد استخدمت بحوث العمليات في عدة مجالات، مثل الإنتاج (Production) والتسويق (Marketing) والتوزيع (Distribution) والرقابة المالية (Financial Control) معتمدة على مهارات الاقتصاديين والرياضيين والإحصائيين والمحاسبين والمهندسين.

في إطار هذه الأهمية، يأتي هذا الكتاب، الذي يتناول بالتفصيل والعمق من خلال المسائل التطبيقية، أبرز مكومات مادة بحوث العمليات، وهي محاولة لتقديم هذه التقنية الراقية إلى طلبتنا الأعزاء في المرحلة الجامعية الأولى، ولكافة المهتمين في الموضوع. وقد توخينا البساطة والتعميق في تقديم الأمثل التطبيقية إيماناً منا بأن هذا هو المدخل الأكثر نفعاً وفاعلية في ترسيخ مادة بحوث العمليات في أذهان القارئ وتشويقه للمتابعة من خلال قيامه بإيجاد حلول لعشرات المسائل التي ضمناها في الكتاب.

وقد قسّمنا الكتاب إلى خمسة عشر فصلاً، تناولت من خلال الأمثلة والتعريفات

شرايين تقنية بحوث العمليات. فالفصل الأول مكرس كمقدمة وخلفية لهذه التقنية الرياضية، أما الفصل الثاني فهو يدخل في صلب موضوع البرمجة الخطية، بينما الفصل الثالث جاء مكرساً لوسائل صياغة مسائل البرمجة الخطية.

وفي الفصل الرابع، جاء التركيز على موضوع استخدام الطريقة البيانية في حل نموذج البرمجة الخطية، بينما جاء الفصل الخامس مكماً ومعزراً لهذا الفصل، حيث الحديث بالأمثلة والشواهد عن أبرز طرق حل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكس بشكل الجداول، وتعمقنا في شرح وتفسير النموذج الثاني لمسائل البرمجة الخطية.

أما مشكلة النقل فهي موضوع الفصل الثامن، بينما وجدنا من الضروري أن يكون الفصل التاسع مكرساً لبرمجة الأعداد الصحيحة. ولأهمية موضوع تخطيط المشروعات، فقد أفردنا الفصل العاشر له. أما الفصل الحادي عشر تناول موضوع نظام التخزين والفصل الثاني عشر، فقد جاء مكرساً لموضوع نظام خطوط الانتظار، أما الفصل الثالث عشر خصص لموضوع المحاكاة باعتباره تقنية راقية لا بد من تقديمها للطالب لكي يكون ملماً تماماً بكافة بحوث العمليات.

ثم جاء الفصل الرابع عشر، وهو فصل كرسناه بالكامل لموضوع مهم جداً ألا وهو نظرية المباريات، باعتبار هذه النظرية لها تطبيقاتها المعروفة في بحوث العمليات.

وأختم الكتاب بلمحة عن برمجة تعدد الأهداف في الفصل الخامس عشر والذي يعتبر إضافة كاملة في هذه الطبعة بالإضافة إلى بعض التعديلات الهامة التي أضفت على الكتاب.

والأمل أن تكون بهذا الجهد نسدي خدمة إلى المكتبة العربية عامة، والمكتبة العلمية خاصة، وتخدم قضية العلم والمعرفة في وطننا العربي المتطلب إلى موطن قدم في عصر تحديات العلم والتكنولوجيا.

ومن الله التوفيق،

المؤلف

أ. د. أبو القاسم مسعود الشيخ

الفصل الأول

بحوث العمليات

يتناول هذا الفصل أجزء العملية والنظرية
لبحوث العمليات ، مع تسليط الضوء على أبرز
تطبيقاتها العملية ، كما يبحث الفصل في مفهوم
بحوث العمليات ، ويشرح بأسلوب مبسط أبرز
خطوات هذه العمليات .

1.1 مقدمة

تعود الجذور العلمية والنظرية لبحوث العمليات إلى النماذج الأولى للبرمجة الرياضية وتطورها اللاحق، أما التطبيقات العملية لأساليب بحوث العمليات فقد ظهرت لأول مرة إبان الحرب العالمية الثانية عندما شكل الحلفاء فرق بحوث لدعم العمليات اللوجستية. وكل مشاكل التخطيط والسيطرة العملياتية. إذن التطبيقات الأولية لبحوث العمليات انطلقت من المؤسسة العسكرية ثم انتقلت إلى الميدان الصناعي، والمدني عموماً بعد الحرب مباشرة.

وقد شهد النصف الثاني من هذا القرن تطوراً جلياً في تطبيق بحوث العمليات، بل وفي تطور أساليب تكتيكية جديدة أتاحت الفرصة لها ثورة (المعلوماتية Informatics) والكمبيوتر والتقدم النوعي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا.

واليوم يُطلق مصطلح بحوث العمليات Operation Research أو مصطلح علم الإدارة Management science كما تسميه الجامعات الأمريكية على مجموعة من الأساليب والطرق الكمية التحليلية التي تسعى إلى صياغة وتطوير نماذج للمشكلات العملية، والمساعدة في عملية اتخاذ القرار بعد حساب متغيرات كل قرار (بديل). واختيار القرار الأمثل من بين البدائل المتاحة (أو الاستخدامات المتنافسة) بحيث يمكن تحقيق أعلى مستوى من العائد المتوقع وتخفيض التكاليف إلى أدنى مستوى ممكن. وباختصار تعتبر بحوث العمليات أدوات تحليل نظامي أو منهجي للمشاكل التي تواجه منظمات الأعمال والمؤسسات الاقتصادية بما يمكن الإدارات من حل هذه المشاكل في الوقت الحقيقي (Real time) والتقليل من درجة المخاطرة (Risk) إلى

أقصى حد. أو حالات عدم التأكد المرافقة لبيئة الأعمال (Uncertainty) تأسيساً على ما تقدم يمكننا القول أن نطاق أساليب أو طريق بحوث العمليات غير محدد، كما أن هذه الأساليب هي في عملية تطور وإيضاح مستمر.

ومن ذلك يمكن تصور هذه الأساليب من منظور متكاملة من العمليات الذهنية التي يعبر عنها النموذج التدفقي الموضح في الصفحة التالية.

ويمكن شرح خطوات العمليات على النحو التالي:

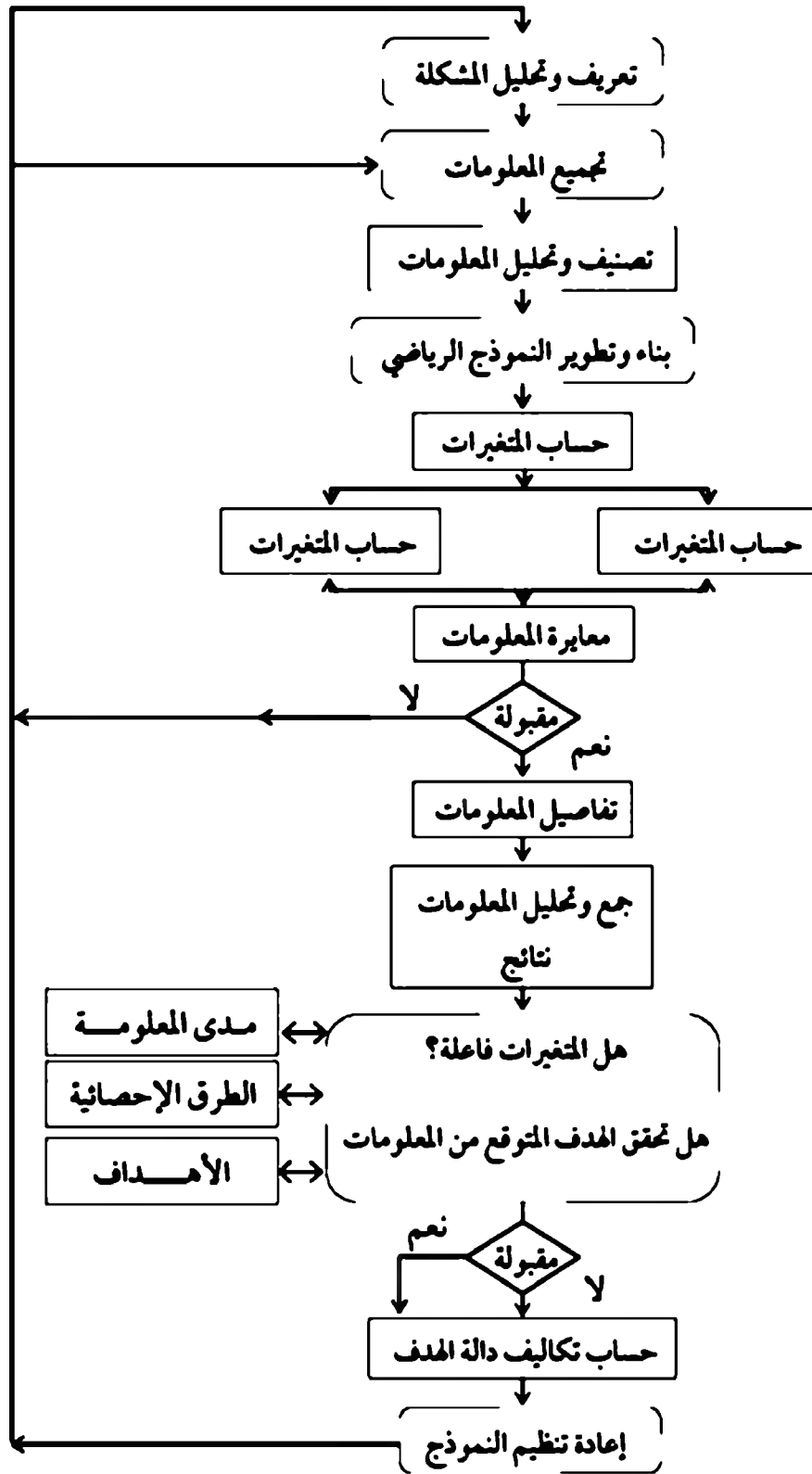
- 1- تعريف وتحليل المشكلة (صياغة المشكلة).
- 2- بناء النموذج الرياضي.
- 3- حساب البدائل التي تسبب إجراءات المشكلة.
- 4- تحديد تأثير جميع البدائل المتاحة (الحلول المتاحة).
- 5- حساب المواصفات لاختيار القرار الأمثل.
- 6- مراجعة مشروع القرار الذي اختير للتنفيذ مستقبلاً.
- 7- اتخاذ القرار النهائي لحل المشكلة.

بناءً على الخطوط العريضة لخطوات بحث العمليات التي ذكرت سالفاً يمكن الدخول في بعضها بالتفصيل باعتبارها خطوات تنفيذية لبناء أي نمط لبحوث العمليات.

1- صياغة المشكلة (Formulating the problem):

يقصد بصياغة المسألة، اتخاذ الخطوات اللازمة لتحويل المشكلة من مسميات وصفية إلى رموز رياضية وصياغتها وفقاً للعلاقة التي تربطها، سواء كانت خطية أو غير نمطية من خلال هدف المشكلة والقيود التي تشرطها. والخلاصة في هذه المرحلة يجب أن تكون:

- أ - المشكلة بصورة كمية.
- ب - تحديد واضح للهدف والقيود المفروضة عليه.



2- بناء النموذج الرياضي (Building the model)

يقصد ببناء النموذج الرياضي إيجاد العلاقة بين معاملات المشكلة (الثابتة والمتغيرة) في صورة رياضية صحيحة والتي يمكن بواسطتها حلها تحقيق الهدف المرغوب فيه.

3- تحليل معلومات (Information Analysis)

يقصد بتحليل المعلومات حساب المتغيرات المطلوبة وتطبيق طريقة حساسية المتغيرات في مجال الحل الأمثل والتأكد من مصداقية المعلومات من الناحية التطبيقية.

4- تنفيذ نتائج المعلومات (Implementation of information)

يقصد بتنفيذ نتائج الحل تنفيذ قيم المتغيرات التي تحقق الحل الأمثل واتخاذ القرار الإداري وفقاً لهذه النتائج.

1.2 تطبيقات بحوث العمليات:

نظراً لتعدد تطبيقات بحوث العمليات بما يصعب حصرها إلا أنه يمكن ذكر التطبيقات التالية على سبيل المثال لا الحصر:

- 1- مشكلة نقل المواد (Materials transportation)
- 2- مشكلة التعيين والتخصيص (Assignment problem)
- 3- خلط النفط (Gasoline blending)
- 4- تخطيط الإنتاج (Production planning)
- 5- تخطيط المالية (Financial planning)
- 6- اختيار الميزانية العامة (Selection of capital budgeting)
- 7- تخطيط أنماط استهلاك الطاقة (Energy planning)
- 8- تحديد المواقع الخدمية والإنتاجية (Facility location and layout)

- 9- تخطيط رحلات الطيران والسكك الحديدية (Airline & railway planning)
- 10- التخطيط والتحكم في المخزون (Planning and control of inventor)
- 11- تصميم الشبكات الكهربائية (Electric network design)
- 12- تخطيط الإشارات الضوئية في الطرق (Traffic signal planning)
- 13- تخطيط شبكات الري والصرف (Water and waste network planning)
- 14- نظام صفوف الانتظار (Waiting line system)
- 15- نظام المحاكاة (Simulation system)
- 16- تخطيط المشروعات (Project planning)
- 17- الصيانة والسيطرة على التكاليف (Maintenance cost control)
- 18- التنبؤ (Fore casting)
- 19- السيطرة النوعية (Quality control)
- 20- تقييم الاستثمارات (Investment evaluation)
- 21- ظروف المخاطرة وعدم التأكد (Conditions of risk and uncertainty)

الفصل الثاني

البرمجة الخطية

في هذا الفصل يتضح بجلاء مفهوم البرمجة الخطية كتقنية رياضية راقية لاستغلال الموارد المحدودة والوفاء بالهدف المنشود ، وذلك من خلال مناقشة مستفيضة لمفردات البرمجة وخطوات صياغة مسائلها ، والنموذج العام لأنماطها وتحقيق هذه الأنماط.

2

الفصل الثاني

البرمجة الخطية (Linear Programming)

2.1 مقدمة

البرمجة الخطية هي تكتيك رياضي يهتم بحل مشاكل الصناعة على وجه العموم فيما يتعلق بتصغير وتعظيم الدوال الخطية بوجود قيود أطرافها متساوية وأقل من وأكبر من، ويرجع حل هذه المعادلات للعالم (George B. Dantzig, 1947) ويستخدم تكتيك البرمجة الخطية لحل المشاكل العسكرية والمدنية والصناعية بالإضافة إلى تخطيط المدن ومجالات أخرى.

ومنذ عام 1947 ف حيث نشر (Dantzig) لأول مرة طريقة حل البرمجة الخطية وسماها (Simplex) طريقة السمبلكس قام الكثيرون بتطوير هذه الطريقة لتحسين كفاءة مخرجاتها.

وأولى هذه المحاولات خرجت (1953ف) بواسطة المكتب الوطني للقياسات النمطية (National bureau of Standards) بالولايات المتحدة الأمريكية. وفي عام (1953ف) أصبح علم الحاسوب متاحاً وأصبح استخدام المحل الرياضي بواسطة الحاسوب.

وفي (1958ف) طور (R. E. Gomory) طريق السمبلكس بما يسمى بطريقة (Cutting plane algorithm) وذلك بحل البرمجة الخطية بإجابة الأعداد الصحيحة في (1690ف) (A. H. Land and A. G. Doig) نشر بحثاً لتطوير طريقة حل البرمجة الخطية بما يسمى (Branch-and-bound).

وحتى 1979 ف طورت طريقة السمبلكس بواسطة بحاث من الاتحاد السوفيتي وسميت (L. G. Khachian). (Polynomial tire algorithm).

البرمجة الخطية إذن هي طريقة رياضية حديثة لتخصيص الموارد النادرة والمحددة من أجل تحقيق أهداف معينة حيث يكون من المستطاع التعبير عن الأهداف والقيود التي تحد من القدرة على تحقيقها في صورة معادلات أو متباينات رياضية.

2.2 تعريف مفردات البرمجة الخطية:

1- المتغيرات (Variables)

يقصد بالمتغير الذي يرمز له بقيمة مثل x_i ($j= 1,2,3, \dots, n$)

2- المتغير المتحكم فيه (Continuous variable)

هو متغير تحت تصرف من يتخذ القرار.

3- المتغير المستمر (Continuous variable)

هو متغير ذو قيمة محصورة بين حدود عظمى ودنيا.

4- المتغير المتقطع (Discrete variable)

هو المتغير الذي يأخذ قيم موصوفة بدرجات معلومات

مثال X يمكن أن تأخذ القيم $10, 32, \frac{5}{2}, 0, 1$

5- المتغير الخطي (Linear Function)

هي الدوال أو المعادلات التي لا تأخذ في أسها إلا واحد فقط.

مثال $x_1 + x_2$ وليس $x_1 \log x_2$.

وتعتبر هذه الدوال من ذات المتغير المستمر

6- الدوال غير الخطية (Non liner Function):

هي عكس الدوال الخطية ويمكن أن يكون أسها أقل و أكثر من (1).

$$x^1, x^2, e^1, e^2, \frac{1}{2}, \dots$$

وتعتبر هذه الدوال من الدوال ذات المتغير المتقطع.

7- النمط الرياضي (Mathematical model)

هو نمط يحدد العلاقة بين متغيرات وثابت تحاكي واقع أي نظام، والنمط الرياضي الخطي هو الذي يحوي على معادلات خطية فقط.

8- المعادلات (Equations)

ويمكن تمثيلها بواسطة الآتي:

$$F(x) = b$$

ويعني هذا أن بعض الدوال تحتوي على متغيرات في الطرف الشبالي.

$$X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$$

وعلى طرف يمين يساوي (b)

9- الغير متعادلات (Inequalities)

ويقصد بها المعادلات التي طرفها الشبالي لا يساوي الطرف الأيمن فقط، بل يزيد أو يقل عنه. ويمكن التعبير عنها رياضياً على النحو التالي:

$$f(x) \leq b$$

$$f(x) \geq b$$

10- الأهداف (Objectives)

ويمكن تمثيلها رياضياً بواسطة المعادلة التالية:

$$\text{Minimize } f(x) \text{ or maximize } f(x)$$

وهو تعبير عن تصغير التكاليف أو المسافات أو تعظيم الربح أو الإنتاج.

11- القيود (Constraints)

هي عبارة عن معادلات يجب أن تحقق رياضياً في ظل الهدف، ويمكن أن يعبر عنها رياضياً.

$$l(x) \leq b$$

$$l(x) \geq b$$

$$l(x) = b$$

ويعتمد على حالة الإنتاجية.

2.3 خطوات صياغة مسائل البرمجة الخطية:

تُعبّر صياغة مسائل البرمجة الخطية من الخطوات الأولى الأساسية لبناء نمط سهل حله بواسطة البرمجة الخطية. وتبدأ أولاً بتحديد المتغيرات التي يمكن التحكم فيها (Controllable variables) ومنها إلى تحديد الهدف.

ويمكن حساب المتغيرات التي يمكن التحكم فيها من خلال معطيات المسألة المطروحة للحل مثل عملية عزل مسكن لتصغير تكاليف التكييف والكهرباء، ففي هذه الحالة تعتبر Controllable variables على النحو التالي:

1- كمية المواد اللازمة للعزل.

2- مساحة الجدران التي يتطلب عزلها.

- 3- عدد العواصف المتوقعة.
- 4- عدد الستائر المستخدمة بالمنزل.
- 5- كمية المواد المستخدمة لعزل خزان المياه.
- 6- التغير في درجات الحرارة.
- 7- سرعة الرياح واتجاهاتها.
- 8- كمية أشعة الشمس التي يتعرف لها المنزل.
- 9- عدد أفراد الأسرة.
- 10- عدد مرات فتح الأبواب والنوافذ بالمنزل.
- 11- تكلفة مواد العزل.

نلاحظ أن المتغيرات الإحدى عشر التي ذكرت أعلاه لا يمكن التحكم فيها، ما عدا الستة متغيرات الأولى فإنه يمكن التحكم فيها وتسمى (Controllable variables) أما باقي المتغيرات فتعتمد على تكلفة التكييف والكهرباء وتعتبر غير متحكم فيها (Uncontrollable variables)

وتعرف في النمط الرياضي بالشكل الآتي:

- x_1 = كمية المواد اللازمة للعزل الطولية.
- x_2 = كمية المواد التي تعزل الحافظ بالوزن.
- x_3 = كمية المواسير اللازمة.
- x_4 = كمية العواصف التي تمر مع النوافذ.
- x_5 = كمية المواد المستخدمة.
- x_6 = كمية المواد اللازمة لعزل خزان المياه.

ولصياغة دالة الهدف تتطلب عادة بعض الأمثلة الآتية:

- تعظيم الربح (Max. prefit)
 - تصغير التكلفة (Min. cost)
 - تصغير الوقت الضائع (Min. overtime)
 - تعظيم استخدام الموارد المتاحة (آلات، مواد، الخ) (Max. resources)
 - تصغير زمن غياب العاملين (Min. absenteeism)
 - تصغير زمن عطل الآلات (Mix. tool breakdown)
 - تصغير المخاطرة في الشغل (Min. risk of work)
 - تعظيم احتمال أن العمليات تقع ضمن المواصفات (Max. prob. Process. Spes)
- ويصعب هذه الأهداف معادلات القيود والتي غالباً ما تخضع إلى الأسباب الآتية:
- المواد الخام المتاحة (Limited raw material)
 - الميزانية المخصصة (Limited budget)
 - الزمن المخصص (Limited time)
 - القوى العاملة المتاحة (Limited personnel)
 - القدرة والمهارة المتاحة (Limited ability or skill)
- ويبقى العامل الثالث والأخير في صياغة المسائل وأنماط البرمجة الخطية وهو أن لا يسمح للمتغيرات بأن تأخذ قيم خيالية (سالبة) (No negativity).

2.4 النموذج العام لأنماط البرمجة الخطية:

يمكن كتابة النموذج العام لأنماط البرمجة الخطية رياضياً على النحو الآتي:

$$\text{Objective دالة الهدف} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Maximize } a_{r,1} + a_{r,2} + \dots + a_{r,n} x_n \text{ لكل } r \\ \text{Maximize } a_{s,1} + a_{s,2} + \dots + a_{s,n} x_n \text{ لكل } s \end{array} \right.$$

تحت شرط Subject to

$$A_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + \dots + a_{in} x_n \leq_{\geq} b \text{ لكل } i$$

حيث

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

2.5 تحقيق أنماط البرمجة الخطية (Model validity)

من المعروف أن أي نموذج رياضي على صورة برمجة خطية لا يمثل الواقع بالضبط ونحن لا نستطيع أن نقول أن هذا النموذج يمكن تحقيقه بنسبة ما في الحياة العملية وذلك بنسبة أخرى. ويمكن بالتالي تعريف النموذج وفقاً للمتوقع من الهدف المحدد مسبقاً. وتتخذ خطة تحقيق نماذج البرمجة الخطية وفقاً للمراحل الآتية:

- 1- معايير تركيب النمط الرياضي.
- 2- معايير منطق النمط الرياضي.
- 3- معايير تصميم النمط ومستوى المعلومات ومصادقيتها.
- 4- معايير ردود تأثير متغيرات النمط الرياضي.

ويقصد بمعايير تركيب النمط الرياضي النظر إلى جميع المتغيرات التي يحتويها النمط وعلاقتها ببعضها وعلاقتها بالمنظمة التي تحتويها جميع المتغيرات ومدى انعكاساتها للحال الفعلية تحت الدراسة.

أما منطق النمط الرياضي فيقصد به الدقة في تمثيل المتغيرات للمعلومات التي يحتويها النظام الذي تحت الدراسة (System) بالإضافة إلى منطقية هذه المتغيرات ومحركاتها وتسلسلها للواقع، على سبيل المثال؛ هل اتخاذ هذه السياسة المصاغة في النمط الرياضي تؤدي إلى زيادة في الربح أو تقليل في التكاليف الخ.

إن المعلومات المستخدمة في النمط الرياضي كمدخلات (Input) هي عصب تحقيق النمط الرياضي، فصحتها تعكس مصداقية النموذج ومحاكاته للنظام الذي تمت دراسته والمعايرة، وهذا يعتمد على طرق تجميعها سواء من التجارب العملية أو من السوق التجاري أو الصناعي ومدى دقتها والابتعاد عن تقريبيها وتنبؤها بواسطة الطرق الإحصائية.

إن استجابة النمط الرياضي للمعلومات تعكس مدى مصداقية النموذج الرياضي. فمثلاً العلاقة بين الاقتصاد القوي للدولة وتوفر وسائل المواصلات والطرق.. الوصول إلى تنبؤ معلومات بواسطة النمط الرياضي حسب المتوقع يعكس ذلك مصداقية النموذج الرياضي.

تأسيساً على ما تقدم يمكن استنتاج فرضيات البرمجة الخطية وهي:

- 1- أن يكون هناك هدف واضح ومحدد مثل تحقيق أعلى عائد (التعظيم) أو تقليل التكاليف إلى أدنى مستوى ممكن. وبالطبع لا يوجد هدف واحد إذ تتغير درجة تحقيق الهدف بالتغيرات التي تحدث في البرنامج.
- 2- أن يكون هناك عدد من المتغيرات التي تتأثر في تغييرها بالقرارات والتي تؤثر في الهدف المنشود.
- 3- إن التغير الذي يحصل في المتغيرات يخضع لحدود أو قيود تفرضها المواد المتاحة والتي يمكن استخدامها في كل أو جزء من هذه المتغيرات.
- 4- وجود علاقة خطية معروفة ومحددة بين المتغيرات ودرجة تحقيق الأهداف المنشودة وكذلك بين الزيادة والتقصان في المتغيرات ودرجة استعمال الموارد. وهذا الشرط يعني بالتغير الرياضي أن تكون دالة الهدف والقيود المفروضة على المشكلة على هيئة معادلات أو متباينات من الدرجة الأولى.

الفصل الثالث

صياغة مسائل البرمجة الخطية

إن هذا الفصل معزز بالأمثلة التطبيقية التي
تتعقل بكيفية صياغة مسائل البرمجة الخطية،
مع التركيز على شروط عدم السلبية من خلال
المزيد من الأمثلة التوضيحية.

صياغة مسائل البرمجة الخطية Problem Formulation

3.1 مقدمة:

يهتم هذا الفصل بصياغة مسائل البرمجة الخطية والتي تعني تحويل المشاكل الحقيقية إلى مسائل رياضية من خلال خطوات يحسب فيها شكل النموذج الرياضي ومستوى المتغيرات، نوع المتغيرات، وحدود المشكلة ومركباتها وذلك من خلال الأمثلة التالية:

مثال 1:

تنتج شركة إنتاجية ثلاثة منتجات. وكل منتج يحتاج إلى ثلاثة أنواع من المدخلات هي: المادة الخام، الطاقة البشرية، والطاقة الميكانيكية، ويوضح الجدول رقم (3-1) احتياجات وحدة المنتج من مدخلات الإنتاج والإنتاجية لكل مدخل والربح المتوقع لكل منها:

جدول (3-1)

| البيان | احتياجات المنتج من مدخلات الإنتاج | | | كمية المدخلات المتاحة |
|--------------------|-----------------------------------|--------|--------|-----------------------|
| | منتج 1 | منتج 2 | منتج 3 | |
| المادة الخام كجم | 2 | 3 | 4 | 1200 كجم |
| طاقة بشرية | 1 | 2 | 3 | 400 ساعة |
| الطاقة الميكانيكية | 3 | 1 | 6 | 1500 ساعة |
| الربح د.ل. للوحدة | 10 | 7 | 5 | |

المطلوب:

صياغة نموذج البرمجة الخطية لتحديد الكمية الواجب إنتاجها من كل منتج لتعظيم الربح إلى أقصى حد ممكن.

الحل:

1- تحديد متغيرات النموذج (Determination of the decision variables):

باعتبار أن المطلوب كمية كل منتج يسعى إلى تعظيم الربح، عليه فإن المتغيرات هي:

x_1 كمية الإنتاج من المنتج 1

x_2 كمية الإنتاج من المنتج 2

x_3 كمية الإنتاج من المنتج 3

2- تحديد دالة الهدف (Formulation of the objective function):

باعتبار أن الهدف من تحديد كمية الإنتاج من كل منتج هو تعظيم الربح الإجمالي من كل المتوجات التي تنتجها الشركة، عليه فإن دالة الهدف وفقاً للمعلومات الموضحة في الجدول (3-1):

$$\text{Maximize } Z = 10x_1 + 7x_2 + 5x_3 \quad \text{تعظيم}$$

3- تحديد القيود (Determination of the constraints):

تمثل القيود المفروضة على الإنتاج في التحكم في كمية المواد الخام والطاقة البشرية والطاقة الميكانيكية، ولتحقيق هذه القيود يجب أن لا تحدث أي زيادة في الطلب على هذه المدخلات لتعظيم كمية الإنتاج من المتوجات الثلاثة وبالتالي يمكن صياغة القيود على النحو الآتي:

$$2x_1 + 3x_2 + 4x_3 \leq 1200 \quad \text{المواد الخام}$$

$$x_1 + 2x_2 + 3x_3 \leq 900 \quad \text{الطاقة البشرية}$$

$$2x_1 + x_2 + 6x_3 \leq 1500 \quad \text{الطاقة الميكانيكية}$$

3.2 شروط عدم السلبية Non-Negativity:

باعتبار أن كمية الإنتاج يجب أن تكون حقيقية وليست خالية، أي يجب أن تكون موجبة في حالة إنتاج المنتج وصفر في حالة عدم إنتاج المنتج، ويكون قيد عدم السلبية على النحو التالي:

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

ويمكن تلخيص ما سبق ثم بناءه كنموذج برمجة خطية لحل مشكلة تعظيم الأرباح على النحو التالي:

$$\text{Maximize } Z = 10x_1 + 7x_2 + 5x_3 \text{ تعظيم}$$

تحت القيود Subject to:

$$2x_1 + 3x_2 + 4x_3 \leq 1200$$

$$x_1 + 2x_2 + 3x_3 \leq 900$$

$$3x_1 + x_2 + 6x_3 \leq 1500$$

$$x_1, x_2 + x_3 \leq 0$$

مثال 2:

مجمع الدواجن بالمنطقة الوسطى يقوم بتغذية 20000 فراخ لمدة 8 أسابيع قبل نقلها إلى السوق. علماً بأن تغذية هذه الفراخ يختلف وفقاً للعمر والاستهلاك الأسبوعي الذي يبلغ تقريباً 455 غرام.

ولكي يتحقق الوزن المستهدف في الأسبوع الثامن. يجب أن تكون تركيبة الغذاء محتوية على نسبة معينة من البروتين.

المطلوب:

إيجاد الكمية المثالية من خلطة المواد الغذائية المستخدمة لتحقيق الوزن المطلوب وبأقل تكلفة ممكنة، والجدول رقم (2-3) يوضح تركيبة المواد وتكاليفها.

جدول (3-2)

| التركيبة | كلسيوم | بروتين | أنسجة | التكلفة | $\frac{L.D}{\text{رطل}}$ |
|------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| صخور | 0.38 | - | - | 0.04 | |
| فول سوداني | 0.001 | 0.09 | 0.02 | 0.015 | |
| حبوب | 0.002 | 0.50 | 0.08 | 0.40 | |

علماً بأن خلطة التركيبة الغذائية يشترك فيها الآتي:

- 1- نسبة الكالسيوم 0.8% على الأقل ولا تزيد عن 1.2%.
- 2- البروتين 22% على الأقل.
- 3- البروتين 5% على الأكثر.

الحل:

x_1 = كمية الصخور في الخلطة رطل.

x_2 = كمية الفول السوداني في الخلطة رطل.

x_3 = كمية الحبوب في الخلطة رطل.

باعتبار أن عدد الفراخ 20.000، وكل فراخ يحتاج إلى رطل.

$$20.000 \times 1 = 20.000 \text{ رطل}$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = 20.000 \text{ رطل}$$

∴ الشرط الأول:

$$0.38 x_1 + 0.001 x_2 + 0.002 x_3 \geq 0.008 (x_1 + x_2 + x_3)$$

$$0.38 x_1 + 0.001 x_2 + 0.002 x_3 \leq 0.012 (x_1 + x_2 + x_3)$$

والتي يمكن كتابتها بصورة أبسط على النحو الآتي:

$$0.372 x_1 - 0.007 x_2 - 0.006 x_3 \geq 0$$

$$0.368 x_1 - 0.011 x_2 - 0.010 x_3 \leq 0$$

والدالة الهدف:

$$\text{Minimize } z = 0.04 x_1 + 0.15 x_2 + 0.40 x_3$$

S.T

$$x_1 + x_2 + x_3 \geq 20.000$$

$$\left. \begin{aligned} 0.372 x_1 - 0.007 x_2 - 0.006 x_3 &\geq 0 \\ 0.368 x_1 - 0.011 x_2 - 0.010 x_3 &\geq 0 \end{aligned} \right\} \text{ كالسيوم}$$

$$0.230 x_1 - 0.130 x_2 - 0.280 x_3 \geq 0 \quad \text{بروتين}$$

$$0.050 x_1 - 0.030 x_2 - 0.030 x_3 \geq 0 \quad \text{أنسجة}$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

مثال 3:

قررت إحدى شركات الاستثمارات الداخلية استثمار مبلغ 50,000 د.ل في ثلاثة مشاريع هي بناء عقارات وإدارة مشروع زراعي وتجارة سلع.

وقد قدر عائد أرباحها السنوي بنسبة هي 7٪، 9٪، 14٪ على التوالي ومن ضمن مخططات الشركة الاستثمارية:

- 1- الحصول على العائد السوي بها لا يقل عن 5000 د.ل.
- 2- توفير 10,000 على الأقل.
- 3- التوفير من تجارة السلع الداخلية لا يزيد عن التوفير في باقي الاستثمارات.
- 4- التوفير في بناء العقارات لا يقل عن 5000 د.ل ولا يزيد عن 15,000 د.ل.

المطلوب:

كيفية توزيع المبلغ المستثمر 50,000 د.ل في المشاريع الثلاثة بحيث يحقق أكبر استثمار ممكن.

الحل:

نفرض أن:

x_1 = الاستثمار في العقارات د.ل.

x_2 = الاستثمار في إدارة المشروع الزراعي د.ل.

x_3 = الاستثمار في تجارة السلع د.ل.

أولاً: لتحقيق العائد السنوي من المشاريع الاستثمارية الثلاثة:

$$0.07 x_1 + 0.09 x_2 + 0.14 x_3 \geq 5000$$

ثانياً: لتحقيق الاستثمار في العقارات

$$x_2 \leq 10,000$$

ثالثاً: التوفير في تجارة السلع الداخلية لا يزيد عن التوفير في بناء العقارات

$$x_3 \leq x_1 + x_2$$

رابعاً: قيود التوفير في العقارات

$$5000 \leq x_1 \leq 15000$$

خامساً: مجموع الاستثمارات لا يزيد عن 50,000 د.ل.

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq 50,000$$

سادساً: شروط الاستثمارات لا تكون سالبة

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

$$x_3 \geq 0$$

$$\text{Max } z = x_1 + x_2 + x_3$$

S.T

$$0.07 x_1 + 0.09 x_2 + 0.14 x_3 \geq 5000$$

$$x_2 \geq 10,000$$

$$-x_1 - x_2 - x_3 \leq 0$$

$$x_1 \geq 5000$$

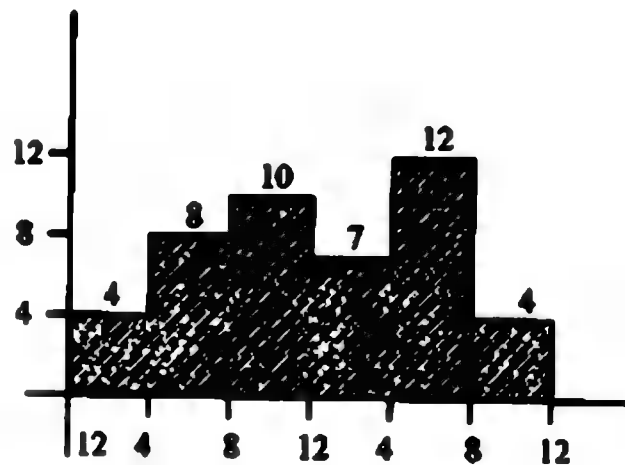
$$x_1 \geq 15000$$

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq 5000$$

$$x_1, x_2, x_3 \leq 0$$

مثال 4:

قامت شركة النقل الريفي داخل إحدى مدن الجاهلية الليبية بدراسة لغرض توفير المواصلات داخل المدينة مع مراعاة تقليل وتصغير عدد الحافلات التي تقوم بنقل المواطنين على أن تكون وسيلة النقل متوفرة خلال الأربع وعشرين ساعة. ومن خلال الدراسة الإحصائية التي قامت بها مجموعة من المهندسين أفادت الدراسة بعدد الحافلات اللازمة خلال فترات مختلفة خلال اليوم وقسمت هذه الفترات إلى ست فترات كما موضح بالشكل (3-1).



شكل (3-1)

المطلوب:

احسب عدد الحافلات اللازمة للتشغيل خلال الفترات الست المختلفة والتي تستوعب الطلبية المناسبة وبأقل عدد ممكن من الحافلات.
إذا افترضنا أن:

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ هو عدد الحافلات اللازمة للتشغيل في بداية كل فترة،
أي أن:

x_1 = عدد الحافلات التي تبدأ العمل الساعة 12:01

x_2 = عدد الحافلات التي تبدأ العمل الساعة 4:01 صباحاً

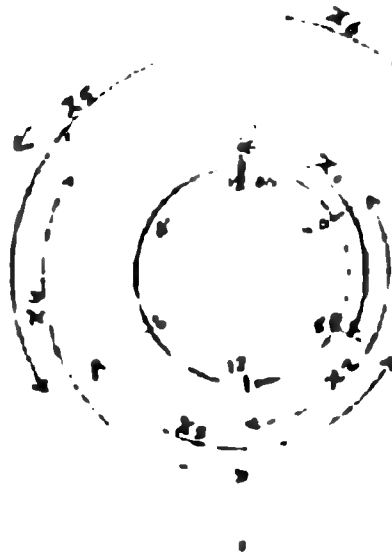
x_3 = عدد الحافلات التي تبدأ العمل الساعة 8:01

x_4 = عدد الحافلات التي تبدأ العمل الساعة 12:01

x_5 = عدد الحافلات التي تبدأ العمل الساعة 4:01

x_6 = عدد الحافلات التي تبدأ العمل الساعة 8:01

ويوضح الشكل رقم (2-3) التداخل الذي يحصل بين الفترات.



شكل (2-3)

∴ عدد الحافلات التي تشتغل خلال كل الفترات وبأقل عدد ممكن هو الهدف

$$\text{Minimize } z = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6$$

S.T

$$\begin{array}{rcl} x_1 & + x_6 & \geq 4 \text{ (صباحاً 4} \leftarrow 12) \\ x_1 + x_2 & & \geq 8 \text{ (صباحاً 8} \leftarrow 4) \\ x_2 + x_3 & & \geq 10 \text{ (صباحاً 12} \leftarrow 8.01) \\ x_3 + x_4 & & \geq 7 \text{ (مساءً 4} \leftarrow 12) \\ x_4 + x_5 & & \geq 12 \text{ (4} \leftarrow 8) \\ x_5 + x_6 & & \geq 4 \text{ (8} \leftarrow 12) \\ x_j & & \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, 6 \end{array}$$

مثال 5:

تقوم الشركة العربية الليبية للأسمنت بإنتاج كميات كبيرة من الأسمنت من مصانع مختلفة موزعة في كل من سوق الخميس، الخميس، درنة، بنغازي.

ويوزع إنتاج هذه المصانع على مراكز مختلفة للتسويق داخل الجماهيرية الليبية مثال بنغازي - سرت - مصراته - طرابلس - سبها.

فإذا فرضنا مصان الأسمنت M ومراكز التوزيع N

حيث: $i = 1, 2, 3, \dots, m$

$j = 1, 2, 3, \dots, n$

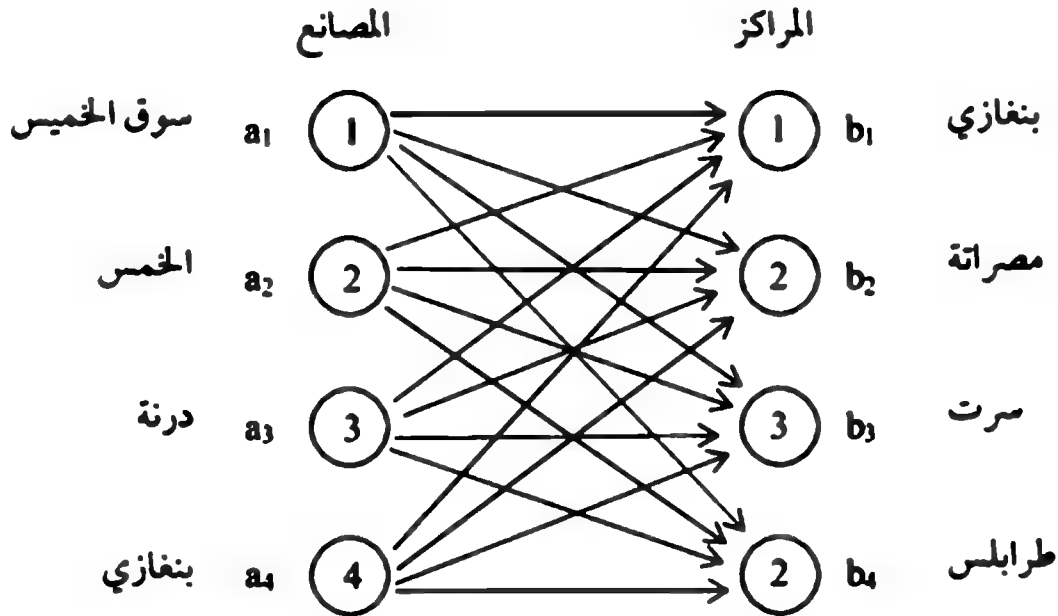
وأن تكلفة وحدة النقل من المصنع إلى المركز التوزيع هي c_{ij}

وأن سعر الإنتاج في المصنع i هي a_i .

وأن سعر الطلبية في المركز j هي b_j .

المطلوب:

كيفية نقل كميات الأسمنت من المصنع i إلى مركز زبأقل تكلفة ممكنة
وتعرف هذه المشكلة باسم مشكلة النقل.



ويمكن صياغة المسألة على نموذج برجة خطية وذلك على النحو الآتي:

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 c_{ij} x_{ij}$$

(تصغير)

Subject to:

$$\sum_{j=1}^4 x_{ij} \leq a_i \quad i = 1, 2, \dots, 4$$

$$\sum_{i=1}^4 x_{ij} = b_j \quad j = 1, 2, \dots, 4$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \begin{matrix} j = 1, 2, 3, 4 \\ i = 1, 2, 3, 4 \end{matrix}$$

مثال 6:

شركة قطاع الورق والطباعة تنتج لفائف من الورق بعرض قدره 50 متر وتختلف طلبيات المطابع لموزعي الأفراد من يوم إلى آخر، ومن هذه الطلبيات المثال الآتي:

| العرض (متر) | عدد الطلبيات |
|-------------|--------------|
| 10 | 100 |
| 15 | 200 |
| 25 | 150 |
| 30 | 150 |

ونظراً لأن الشركة ترغب في وضع خطة لعملية عرض القطع وفقاً للطلبات المدرجة أعلاه باستخدام العرض المتاح لها وهو 50 متر وفي نفس الوقت تهدف الشركة إلى تصغير الفاقد من الورق.

المطلوب:

استخدام طريقة البرمجة الخطية لحل هذه المشكلة.

الحل:

يتم اختيار المتغيرات التي يمكن اتخاذ القرار بشأنها وذلك بمعرفة عدد المرات التي يجب فيها اختيار نموذج القطع.

∴ النموذج الذي يجب أن يقطع به العرض المطلوب وهو 10، 15، 25، 30 متر. ومن النماذج التي يجب أن تختار مدونة في الجدول (3-3).

جدول (3-3) بعض احتمالات القطع الممكنة

| المطلوب | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 5 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | | 2 |
| 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| الفاقد | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 |

نعرف الآن أن:

x_j = عدد مرات استخدام النموذج j لمقابلة الطلبية المطلوبة.

حيث $j = 1, 2, \dots, 9$

ومن المعروف أنه لا يمكن استخدام رقم غير صحيح من اللغة الواحدة لعملية القطع وبالتالي لا بد من الحصول على قيم للمتغيرات بأعداد صحيحة.

فمثلاً: بالنظر إلى قطع نموذج عرض 10 متر.

$$5x_1 + 3x_2 + 2x_3 + 2x_4 + 2x_5 + x_6 + 0x_8 + 0x_9 - x_{10} = 100$$

المتغير x_{10} يعني عدد اللغات ذات النموذج 10 متر وتزيد عن 100 يمكن قطعها وبالتشابه بالنسبة إلى 15 متر، 25 متر، 30 متر.

$$x_2 + 2x_3 + x_6 + 3x_7 + x_8 - x_{11} = 200$$

$$x_4 + x_6 + 2x_9 - x_{12} = 150$$

$$x_5 + x_8 - x_{13} = 50$$

وتعتبر الزيادة للفائق ذات عرض 15، 25، 30 متر ممثلة بالمتغيرات:

x_{13} ، x_{12} ، x_{11} على التوالي.

ولتصغير الفاقد يمكن تمثيل دالة الهدف بالتالي:

$$\text{Minimize } z = 5x_1 + 5x_4 + 5x_8 + 10x_{10} + 15x_{11} + 25x_{12} + 30x_{13}$$

ويعتبر دخول x_{13} ، x_{12} ، x_{11} ، x_{10} يمثل زيادة لفائق عن الطلبية المستخدمة في عملية القطع.

3.3 مسائل:

- 1- تنتج شركة س أربعة منتجات مختلفة على نوعين من الآلات الإنتاجية. زمن الإنتاج لكل منتج موضحاً بالساعة حسب الجدول التالي:

| الزمن اللازم للمنتج بالساعة | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| الآلة | منتج 1 | منتج 2 | منتج 3 | منتج 4 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 2 |
| 2 | 3 | 2 | 1 | 2 |

علماً بأن تكلفة المنتج تعتمد على زمن الإنتاج التي يستغرقه على الآلة.

حيث تكلفة المنتج الواحد على الآلة (1) د.ل و 20 د.ل على الآلة رقم (2). وإن الزمن المتاح لتشغيل آلة (1) هو 500 ساعة، 380 ساعة على الآلة (2)، وثمان بيع المنتجات على التوالي 56.5 ، 70.0 ، 55.0 ، 45.0 د.ل. المطلوب صياغة المسألة لتحقيق أكبر ربح ممكن..

- 2- ينتج مصنع ثلاثة نماذج من منتج ما (I ، II ، III) ويستخدم المصنع نوعان من المواد الخام (A ، B) علماً بأن المتاح من المادة الخام $A = 4000$ وحدة، ومن المادة الخام B هو 600 وحدة، وتستهلك المواد الخام في كل نموذج على النحو الآتي:

| المادة الخام | استهلاك النموذج من وحدات المادة الخام | | |
|--------------|---------------------------------------|----|-----|
| | I | II | III |
| A | 2 | 3 | 5 |
| B | 4 | 2 | 7 |

يحتاج النموذج الثاني II مرتين من النموذج الأول I والنموذج الثالث III ثلاث مرات من النموذج I بالنسبة لزمن المنتجين.

يُنتج المصنع من النموذج I عدد 1500 وحدة، وطلب السوق من النماذج I، II، III على التوالي 200، 200، 150 علماً بأن النسبة لعدد المنتجات I، II، III تساوي 3 : 2 : 5 وأن الربح لمنتج واحد من المنتجات I، II، III على التوالي 30، 20، 50 د.ل. المطلوب: صياغة المسألة حلها بالبرمجة الخطية بحيث تحسب عدد المنتجات المطلوب من I، II، III لتحقيق أكبر ربح ممكن.

3- تشاركية تقوم بأعمال الخدمات الهاتفية، قمت بمسح شامل للمواطنين في إحدى المدن الليبية والراغبين في وجود عمل حسب المقابلات الشخصية (بالهاتف أو مباشرة) وذلك على النحو الآتي:

- أ- يجب أن يشمل المسح على الأقل 360 مقابلة مباشرة.
- ب- يجب أن لا يقل عدد المقابلات عن 500 مقابلة (هاتفياً ومباشرة) في المساء.
- ج- يجب أن لا يقل عن 60% من المقابلات بواسطة الهاتف أثناء الدوام الرسمي.
- د- يجب أن يشمل مجموع المقابلات 1000 مقابلة (شخصياً أو بالهاتف) علماً بأن تكلفة المقابلة الواحدة بالهاتف أو مباشرة أثناء الدوام أو مساء تكون على النحو الآتي:

| مباشرة | بالمهاتف |
|----------------|---------------------|
| الدوام مساء | 2.0 د.ل 1.20 د.ل |
| 2.4 د.ل | 1.0 د.ل |

المطلوب: صياغة المسألة لتحقيق المقابلات وبأقل تكلفة ممكنة.

4- مهندس إنتاج يرغب في تخطيط ثلاثة منتجات على أربع آلات. وكل المنتجات تمر على جميع الآلات لغرض العمليات الإنتاجية.
تكلفة كل منتج على الآلة حسب المعلومات التالية:

| الآلات | | | | المنتجات |
|--------|---|----|----|----------|
| 4 | 3 | 2 | 1 | |
| 7 | 5 | 4 | 4 | 1 |
| 6 | 5 | 7 | 6 | 2 |
| 11 | 8 | 10 | 12 | 3 |

والزمن اللازم بالساعات للإنتاج كل منتج على كل آلة موضح بالجدول التالي:

| الآلات | | | | المنتجات |
|--------|-----|------|-----|----------|
| 4 | 3 | 2 | 1 | |
| 0.2 | 0.2 | 0.25 | 0.3 | 1 |
| 0.25 | 0.2 | 0.30 | 0.2 | 2 |
| 0.50 | 0.6 | 0.60 | 0.8 | 3 |

لو فرضنا أن طلبية السوق من المنتجات 1، 2، 3 هي على التوالي 4000، 5000، 3000 وحدة. والزمن المتاح على كل آلة هو 1500، 1200، 1500 ساعة.
ضع المسألة لحلها بواسطة البرمجة الخطية.

5- تنتج شركة الشاحنات 3 أنواع من المواصلات: حافلة 24 راكب، شاحنة 12 طن، شاحنة 100 طن، والجدول الآتي يوضح بعض المعلومات عن كل نوع من المواصلات.

| نوع المواصلات | الربح / السيارة د.ل | كمية صرف الوقود بالجالون | المبيعات سنوياً |
|---------------|------------------------|-----------------------------|-----------------|
| حافلة 42 راكب | 600 | 18 | 600.000 |
| شاحنة 12 طن | 400 | 24 | 800.000 |
| شاحنة 100 طن | 300 | 36 | 700.000 |

وأن تعليمات أمانة المواصلات تسمح بأن يكون استهلاك الوقود 30 ميل / جالون أو أكثر. وأن كل ميل / جالون يوفر أقل من 30 يجب أن تدفع الشركة عقوبة قدرها 200 د.ل لكل سيارة تنتجها الشركة. وترغب الشركة أن تعظم ربحاً وتقلل من نوع الصرف التي تحت 27 ميل / الجالون. أكتب المسألة بالبرمجة الخطية.

6- إحدى محطات تقنية وصناعة زيت النفط تنتج ثلاثة أنواع من المستويات (A ، B ، C) من الوقود من ثلاثة منابع من مصادر النفط، أي مادة خام يمكن أن تستخدم للإنتاج أي نوع من المنتجات وفقاً للمواصفات التالية؟

| درجة الوقود | المواصفات الفنية | ثمن البيع للجالون د.ل. |
|-------------|---|------------------------|
| A | لا يقل عن 50٪ من خام I ولا يزيد عن 40٪ من خام II | 2.5 |
| B | لا يقل عن 35٪ من خام I ولا يزيد عن 45٪ من خام II | 2.20 |
| C | لا يزيد عن 20٪ من خام III | 1.80 |

وأن أكبر كمية متوفرة من النفط الخام في الفترة الواحدة وتكلفتها على النحو الآتي:

| | | |
|---------|--------|---------------------------|
| خام I | 10.000 | جالون بتكلفة 2.60 / جالون |
| خام II | 9.000 | جالون بتكلفة 2.00 / جالون |
| خام III | 3.000 | جالون بتكلفة 1.20 / جالون |

يهدف مصنع تقطير النفط إلى تعظيم الربح. صغ المسألة بالبرمجة الخطية.

الفصل الرابع

استخدام الطريقة البيانية في حل نموذج البرمجة الخطية

إن هذا الفصل مكرس لموضوع حل نموذج البرمجة الخطية باستخدام الطريقة البيانية ، حيث جاء الفصل غنياً بالأمثلة التطبيقية على كيفية تمثيل القيود بواسطة الرسم البياني. كما يتضمن الفصل بعض التعريفات ذات العلاقة بطريقة الرسم البياني.

استخدام الطريقة البيانية في حل نموذج البرمجة الخطية Graphical Solution of Linear Programming

4.1 مقدمة:

من المتوقع جداً أن القارئ بعد معرفة كيفية صياغة مسائل البرمجة الخطية يكون متشوقاً لكيفية حل هذا النوع من النماذج الرياضية. ويجب علينا أن نشير أن الطريقة البيانية لحل مسائل البرمجة الخطية لا تصلح لحل المشكلات التي تحتوي على أكثر من ثلاثة متغيرات، ومن المعروف أيضاً أن التطبيقات العملية من النادر جداً أن تحتوي على هذا العدد القليل من المتغيرات والتي يمكن اتخاذ القرار فيها بدون هذه الخطوات الرياضية وأنه من الضروري لفرض التوضيح والتحسس لكيفية حلول مسائل البرمجة الخطية استخدام طريقة الرسم البياني لإشعار القارئ بتقنية حل المسائل بالإضافة إلى التعرف على بعض المفردات المهمة في استخدام حلول المسائل بصفة عامة مهما كان عدد المتغيرات. ولتوضيح طريقة حل المسائل بواسطة الرسم والظواهر المتعلقة بها، نقدم الأمثلة الآتية:

4.2 أمثلة على كيفية تمثيل القيود بواسطة الرسم البياني:

إذا اعتبرنا القيود الآتية:

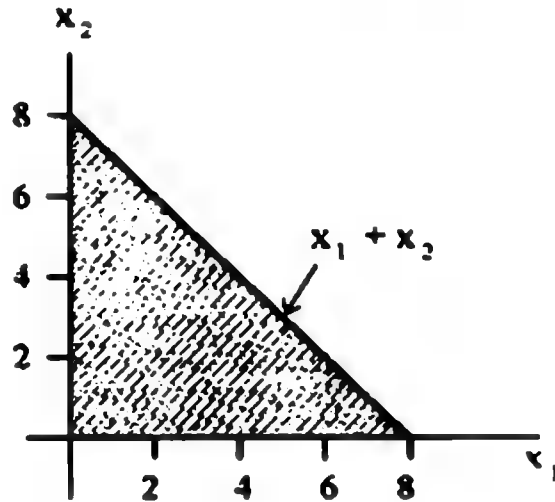
$$3x_1 + 2x_2 = 12 \quad (4.1)$$

$$x_1 + x_2 \leq 18 \quad (4.2)$$

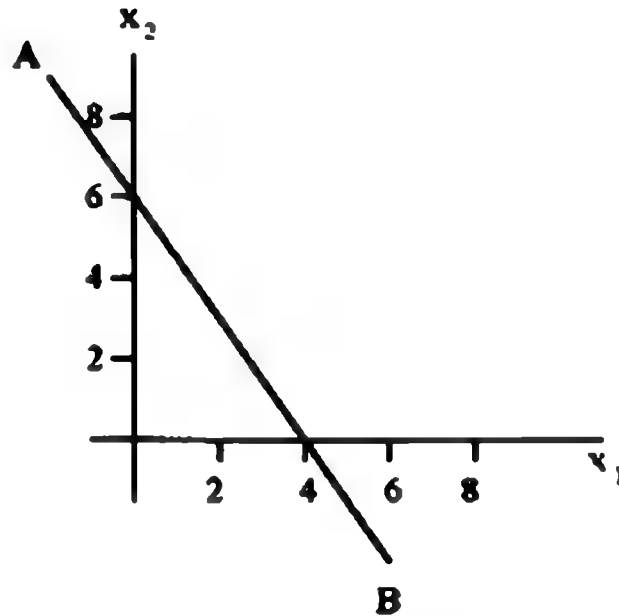
$$4x_1 + x_2 \geq 10 \quad (4.3)$$

$$2x_1 - 3x_2 \leq 12 \quad (4.4)$$

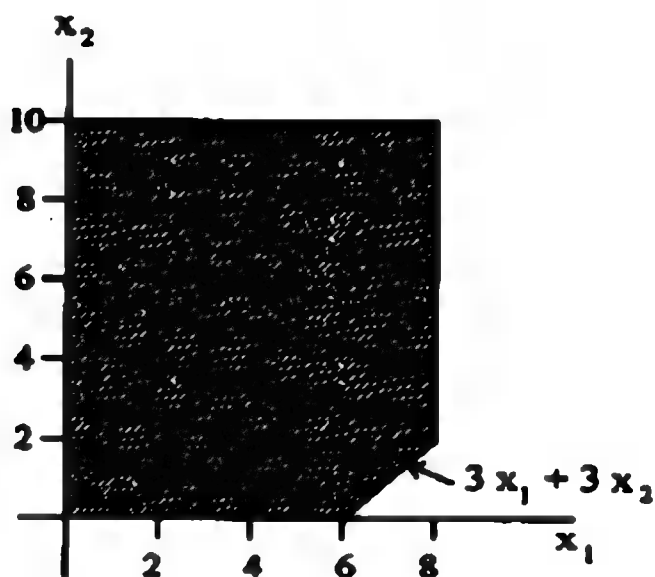
ومن خلال الرقم (4.1) نلاحظ أن القيد (4.1) يرسم على هيئة خط مستقيم كما هو موضح في الشكل (4.1.a) وأن أي نقطة على الخط AB يجب أن تحقق معادلة القيد، وبما أنه من المعروف في شروط مسائل البرمجة الخطية أن كل المتغيرات لها قيمة أكبر من أو تساوي (≤) صفر. عليه يجب اعتبار المساحة التي من $x_1 \geq 0$ ، $x_2 \geq 0$.



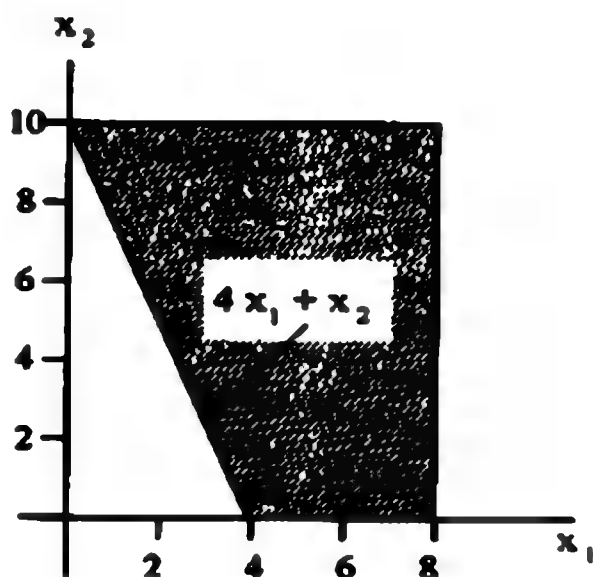
شكل (4.1.b)



شكل (4.1.a)



شكل (4.1.d)



شكل (4.1.c)

نلاحظ أن القيد (4.2) أقل من كما هو موضح بالشكل (4.1.b) والقيد (4.3) أكبر من كما هو موضح بالشكل (4.1.c) أقل من كما هو موضح بالشكل (4.1.d) وأن المساحة المظللة تعني أن أي نقطة على حدودها أو داخلها يجب أن تحقق المعادلة.

إن هذا المثال رسمت فيه كل معادلة على حدة، ولكن عندما يتم رسم المعادلات في شكل واحد سوف تحدد فيها المساحة المشتركة بين المعادلات التي تحقق كل المعادلات في آن واحد ونعرف المساحة المشتركة بـ (Feasible area) وهي المساحة التي يتاح فيها حل المسألة سواء كانت تعظيم أو تصغير.

ويمكن تلخيص الخطوات اللازمة للرسم على النحو الآتي:

- 1- نعرف محاور المتغيرات وفقاً لمسميات المتغيرات (مثل x_1, x_2).
- 2- ارسم معادلات القيود، حقق خط في حالة (=) أو مساحة في حالة (\leq) أو (\geq) المرافقة لكل قيد.
- 3- عرف أو حدد المنطقة الممكنة (Feasible area) بين القيود والتي تسمى مساحة الحل والتي أي نقطة فيها تحقق المعادلات وأن أي نقطة خارج هذه المساحة لا تحقق المعادلات تسمى خارج الحل أو (infeasible) بمعنى غير منظورة من وجهة نظر الحل.
- 4- عرف النقاط الركنية والتي مرشحة أن تكون نقطة الحل الأمثل (optimum).
- 5- أحسب قيمة الحل الأمثل (optimum solution) وذلك بحساب قيمة دالة الهدف لكل نقطة مرشحة للحل في الخطوة الرابعة. وعليه فإن لنقطة التي تحقق أكبر قيمة ممكنة في حالة التعظيم أو أقل قيمة ممكنة لدالة الهدف في حالة التصغير تعتبر نقطة الحل وأن القيمة المصاحبة لها الدالة الهدف هي الحل الأمثل، وسوف نوضح هذه الخطوات في الأمثل القادمة.

مثال 2:

مسألة تعظيم (Maximization Problem).

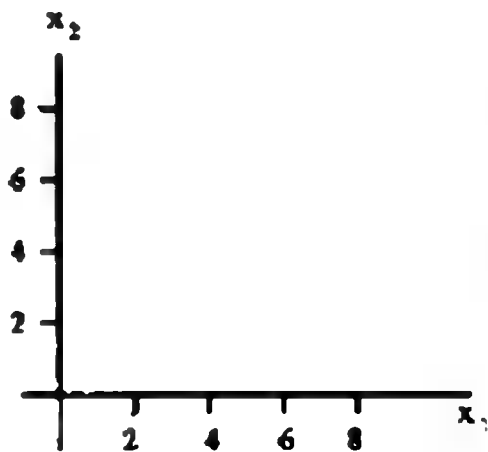
$$\text{Maximize } z = 5x_1 + 2x_2$$

$$x_1 + x_2 \leq 8$$

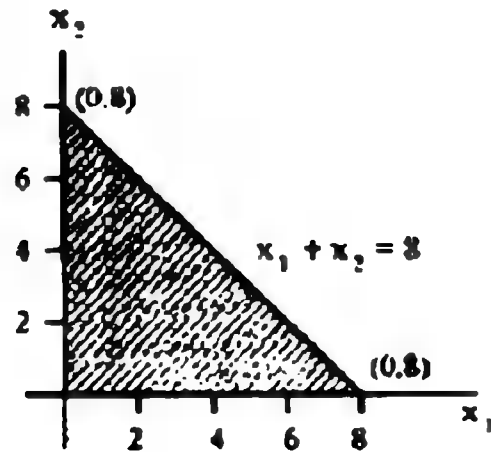
$$4x_1 + x_2 \leq 12$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

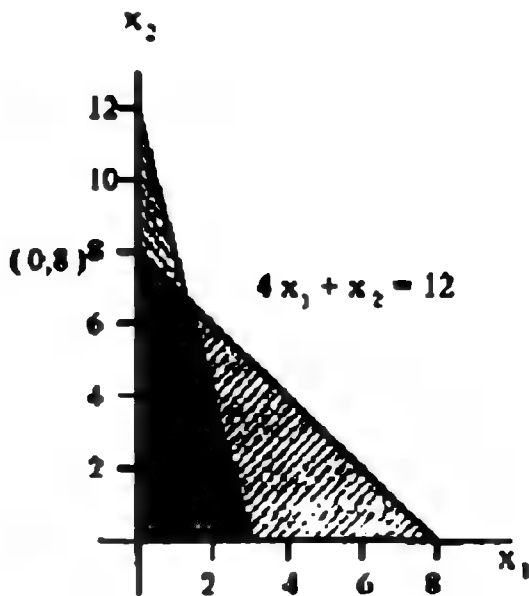
الحل:



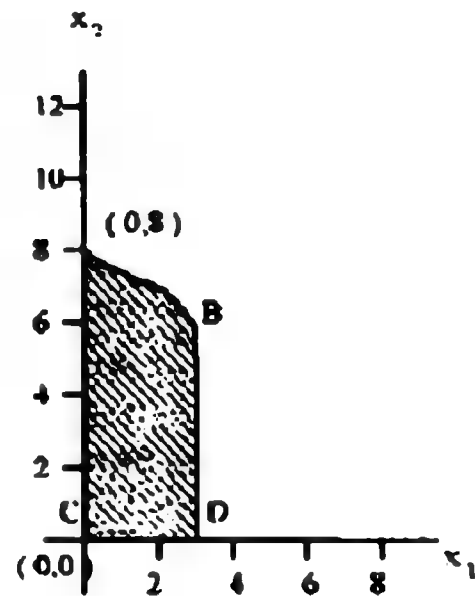
(a)



(b)



(c)



(d)

∴ الواضح من الرسم (d) أن النقاط المشاركة في الحل هي النقاط a ، b ، c ، d ولاختيار الحل الأمثل:

| النقاط المساهمة في الحل | إحداثيات النقاط x_1, x_2 | قيمة دالة الهدف $5x_1 + 2x_2$ |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| A | (0.8) | 16 |
| B | $(\frac{4}{3}, \frac{20}{3})$ | →20 |
| C | (0 , 0) | 0 |
| D | (3 , 0) | 15 |

$$\therefore \text{الحل } x^* = (\frac{4}{3}, \frac{20}{3}), z^* = 20$$

مثال 3:

مسألة تصغير (Minimization problem)

يتشابه استخدام الطريقة البيانية في حالة مشكلة التصغير مثل تقليل التكاليف (Cost minimization) مع استخدامها في حالة مشكلة التعظيم والفارق الوحيد سوف يكون في خطوة اختيار الحل الأمثل.

أوجد قيمة x_1, x_2 إذا كان

$$\text{Maximize } z = 2x_1 + 8x_2$$

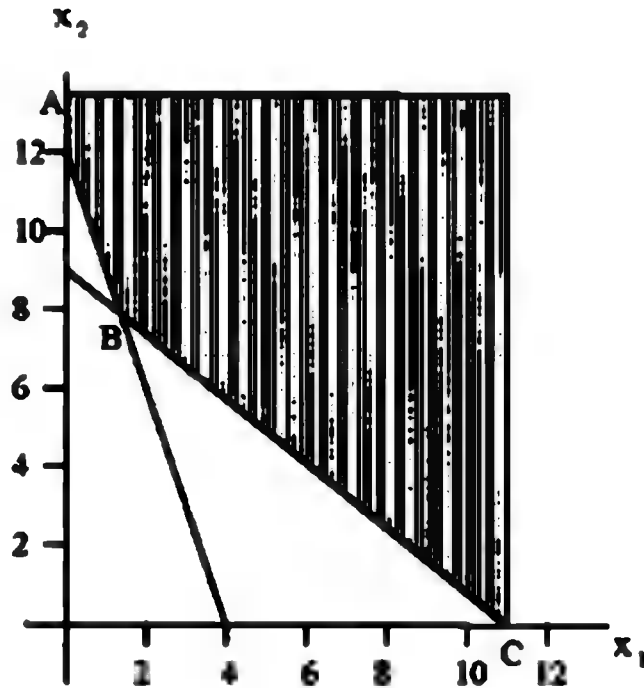
S.T

$$x_1 + x_2 \geq 9$$

$$3x_1 + x_2 \leq 12$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

يمكن رسم القيود على النحو التالي:



وبمعادلة دالة الهدف عند النقاط A, B, C في المساحة غير المغلقة (Unbounded) أو غير محصورة.

$$A (x_1 = 0, x_2 = 12, z = 96)$$

$$B (x_1 = \frac{3}{2}, x_2 = \frac{15}{2}, z = 63)$$

$$C (x_1 = 9, x_2 = 0, z = 18)$$

$$\therefore x^* = (9, 0) \quad z^* = 18$$

* يعني النقطة التي يوجد عندها الحل الأمثل.

مثال 4:

مسألة تعظيم ومساحة الحل غير محصورة.

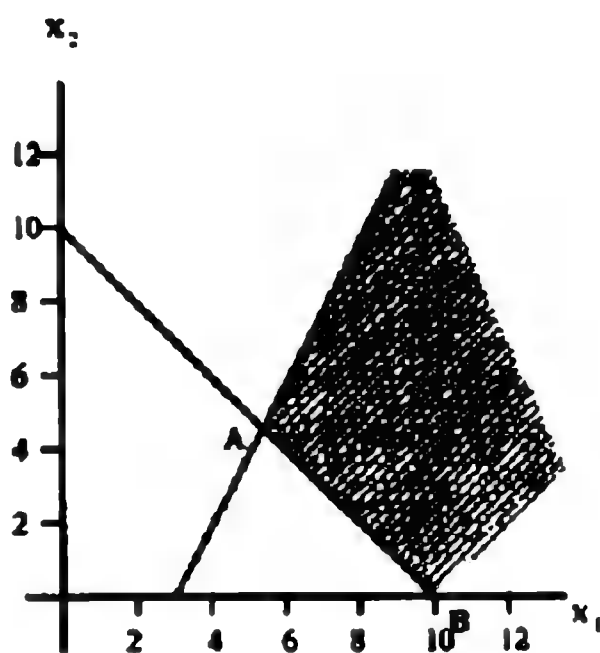
Maximize $z = 3x_1 + 7x_2$

S.T

$$x_1 + x_2 \geq 10$$

$$4x_1 + x_2 \geq 12$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$



$$A (x_1 = \frac{22}{3}, x_2 = \frac{28}{5})$$

$$B (x_1 = 10, x_2 = 0)$$

$$C (x_1 = \infty, x_2 = \infty)$$

من الواضح أن الحل الأمثل هو أعظم قيمة ممكنة وبالتالي فإن نقطة الحل هي:

$$c^* (x_1^* = \infty, x_2^* = \infty, z^* = \infty)$$

مثال 5:

في حالة وجود أكثر من حل مثالي للمسألة (Alternative optimum solution).
أوجد قيمة x_1 ، x_2 إذا كان

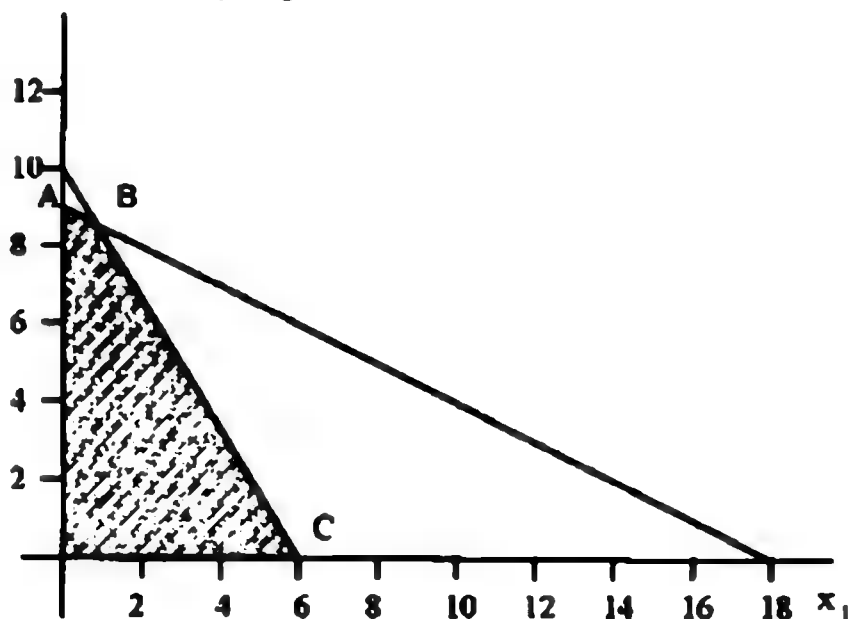
Maximize $z = 10x_1 + 6x_2$

S.T

$$5x_1 + 3x_2 \leq 30$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 18$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$



| قيمة دالة الهدف | الإحداثيات | |
|-----------------|------------------------------------|---|
| 54 | (0, 9) | A |
| → 60 | ($\frac{6}{7}$, $\frac{60}{7}$) | B |
| → 60 | (6, 0) | C |
| 0 | (0, 0) | D |

∴ الحل هو $B^* (\frac{6}{7}, \frac{60}{7})$, $C^* = (6, 0)$

$$z^* = 60$$

مثال 6:

القيد المتكرر (Redundant Constraints).

Maximize $z = 6x_1 + 12x_2$

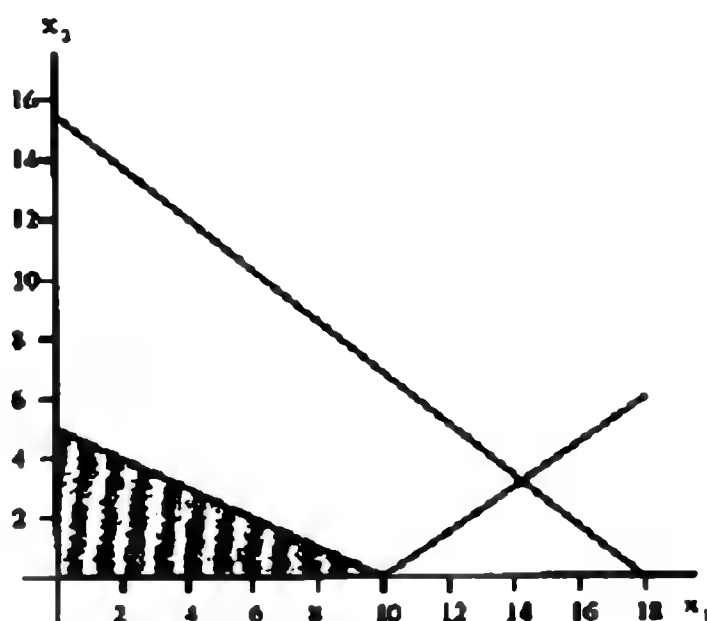
S.T

$$x_1 + 2x_2 \leq 10$$

$$2x_1 + 5x_2 \leq 20$$

$$x_1 + x_2 \leq 15$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$



نلاحظ أن القيد الوحيد الذي يمكن أن يعتمد عليه في الحل هو القيد

$$(x_1 + 2x_2 \leq 10)$$

وكذلك قيود عدم السلبية

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

أما القيد الثاني والثالث فلا تأثير لها على مساحة الحل.

مثال 7:

المسألة التي يوجد لها أكثر من حل (Alternative optimum solution).
أوجد قيمة x_1 ، x_2 إذا كان

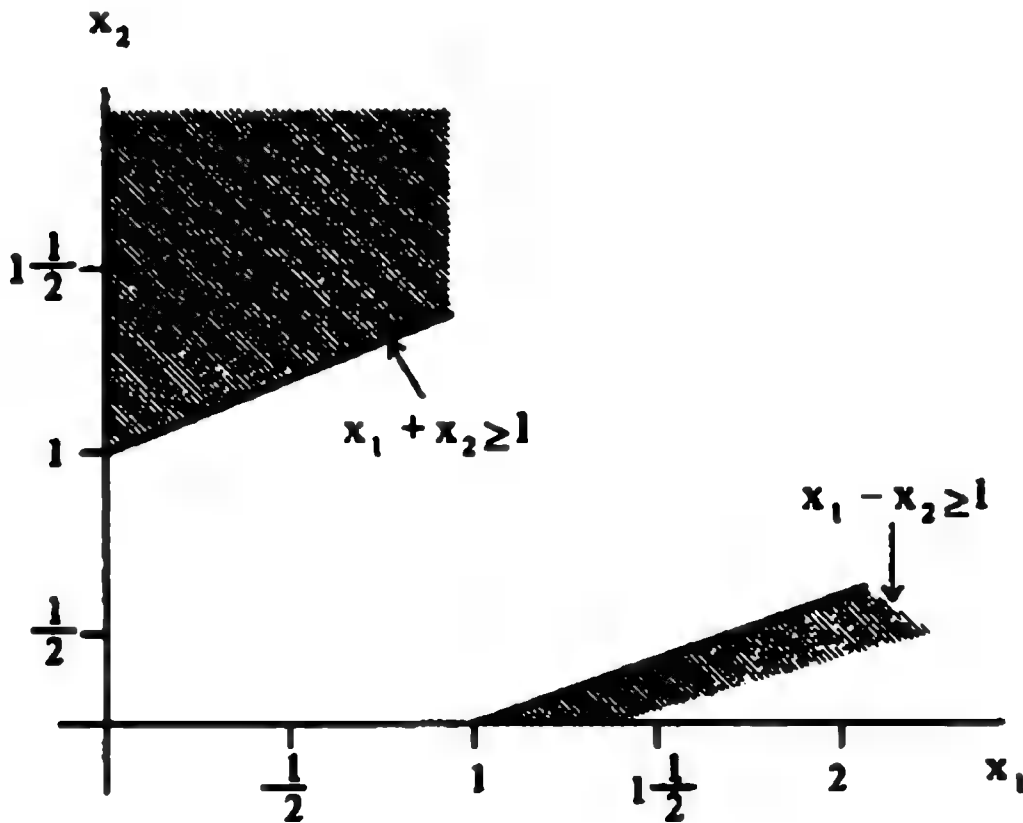
$$\text{Maximize } z = -x_1 - x_2$$

S.T

$$x_1 - x_2 \leq 1$$

$$-x_1 + x_2 \leq 1$$

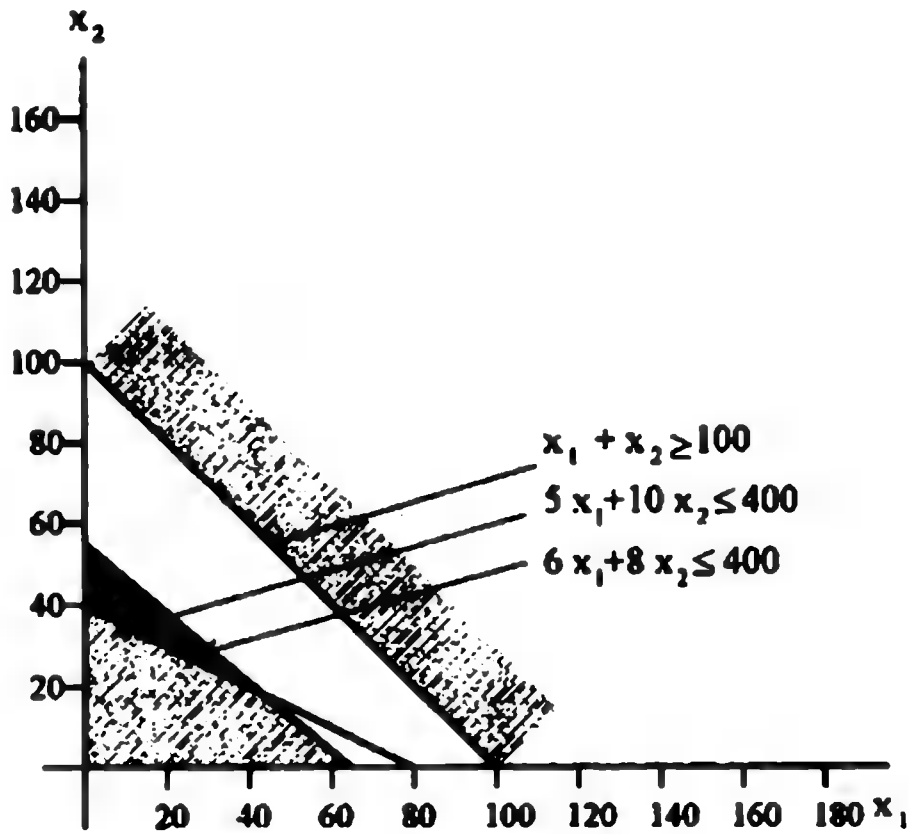
$$x_1, x_2 \geq 0$$



يتضح من الشكل السابق أنه لا توجد مساحة مشتركة بين القيود، وبالتالي لا يوجد حل للمسألة.

مثال 8: (المسألة التي لا يوجد لها حل)

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & z = 3x_1 + 5x_2 \\ \text{S.T} \quad & x_1 + x_2 \geq 100 \\ & 5x_1 + 10x_2 \leq 400 \\ & 6x_1 + 8x_2 \leq 440 \\ & x_1, x_2 \geq 0 \end{aligned}$$



نلاحظ من الرسم أن الثلاثة قيود الموضحة أعلاه لا توجد بينها مساحة مشتركة،
بمعنى آخر لا توجد قيمة للمتغير x_1 ، x_2 تحقق كل المعادلات وعليه تسمى هذه المسألة
بالمسألة التي ليس لها حل (Infusible problem)

4.3 بعض التعريفات المتعلقة بطريقة الرسم البياني:

1- الحل للمنظور (Feasible solution)

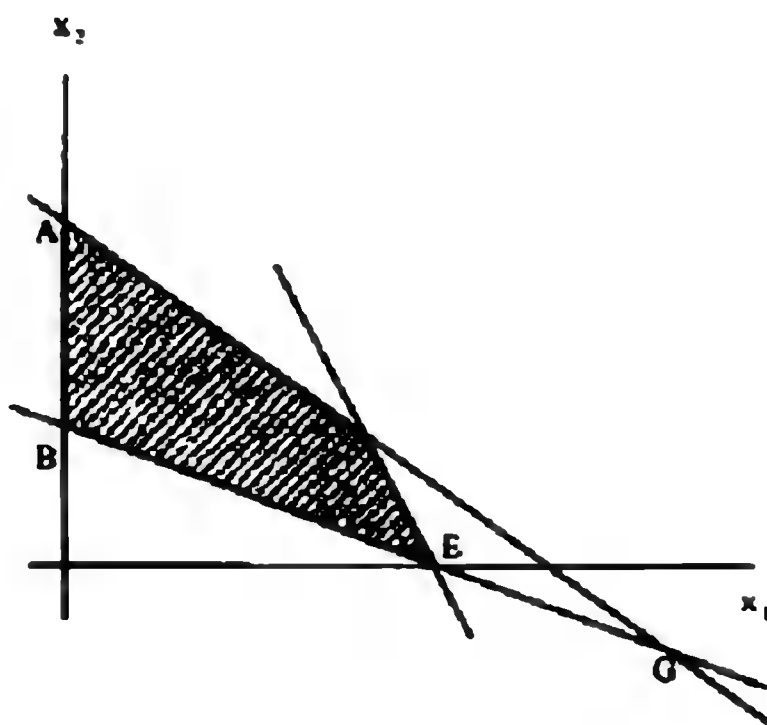
هو الحل للمتغيرات التي تحقق كل المعادلات التي تحضر منطقة العمل وكذلك شروط عدم السلبية.

2- الحل الغير معروف (Infeasible solution):

هو الحل الذي لا يوفر قيم للمتغيرات التي تحقق كل المعادلات (القيود) ولا يحصر مساحة محددة يمكن من خلالها تحديد نقاط الحدود (Boundaries).

3- الحل الابتدائي (Basic solution)

هو أي نقطة تقاطع بين أي معادلتين أو قيدين كما هو موضح بالرسم للنقاط من A إلى G. وتسمى أيضاً بـ (الحل الأساسي) في بعض الأدبيات البريطانية الحديثة.



4- نقاط التقاطع:

يُقصد بنقطة التقاطع الحل الابتدائي أو الأساسي.

5- الحل الأمثل (Optimum solution)

هي القيم المثلى للمتغيرات x_1, x_2, \dots, x_n التي تحقق أكبر قيمة لـ z في حالة التعظيم وأقل قيمة لـ z في حالة التصغير أو التذنية.

4.4 مسائل:

1- حل المسألة الآتية بواسطة طريقة الرسم

$$\begin{array}{ll} \text{Max} & z = 3x_1 + 2x_2 \\ \text{S.T} & \\ & 2x_1 + x_2 \leq 2 \\ & 3x_1 + 4x_2 \leq 12 \\ & x_1, x_2 \geq 0 \end{array}$$

2- حل المسألة الآتية بواسطة طريقة الرسم

$$\begin{array}{ll} \text{Max} & z = 5x_1 + 2x_2 \\ \text{S.T} & \\ & x_1 + x_2 \leq 10 \\ & x_1 \leq 5 \\ & x_1, x_2 \geq 0 \end{array}$$

3- حل المسألة الآتية بواسطة طريقة الرسم

$$\begin{array}{ll}\text{Max} & z = 5x_1 + 6x_2 \\ \text{S.T} & \\ & x_1 - 2x_2 \geq 2 \\ & -2x_1 + 3x_2 \geq 2 \\ & x_1, x_2 \geq 0\end{array}$$

4- حل المسألة الآتية بواسطة طريقة الرسم

$$\begin{array}{ll}\text{Max} & z = 4x_1 + 4x_2 \\ \text{S.T} & \\ & 2x_1 + 7x_2 \leq 21 \\ & 7x_1 + 2x_2 \leq 49 \\ & x_1, x_2 \geq 0\end{array}$$

5- حل المسألة الآتية بواسطة طريقة الرسم

$$\begin{array}{ll}\text{Max} & z = 5x_1 + x_2 \\ \text{S.T} & \\ & x_1 + x_2 \leq 12 \\ & 4x_1 + x_2 \leq 20 \\ & x_1, x_2 \geq 0\end{array}$$

6- حل المسألة الآتية بواسطة طريقة الرسم

$$\begin{array}{ll}\text{Max} & z = x_1 + x_2 \\ \text{S.T} & \\ & x_1 + x_2 \leq 10 \\ & x_1 + x_2 \leq 10 \\ & x_1, x_2 \geq 0\end{array}$$

7- حل المسألة الآتية بواسطة طريقة الرسم

$$\text{Min } z = 3x_1 + 4x_2$$

S.T

$$-3x_1 + x_2 \leq 9$$

$$-9x_1 + 12x_2 \leq 21$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

8- حل المسألة الآتية بواسطة طريقة الرسم

$$\text{Min } z = 3x_1 + 2x_2$$

S.T

$$5x_1 + x_2 \leq 10$$

$$2x_1 + 2x_2 \leq 12$$

$$x_1 + 4x_2 \leq 12$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

9- حل المسألة الآتية بواسطة طريقة الرسم

$$\text{Min } z = 30x_1 + 50x_2$$

S.T

$$2x_1 + x_2 \leq 16$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 11$$

$$x_1 + 3x_2 \leq 15$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

10- حل المسألة الآتية بواسطة طريقة الرسم

$$\text{Min } z = 3x_1 + x_2$$

S.T

$$5x_1 + 4x_2 \leq 40$$

$$3x_1 + 2x_2 \leq 12$$

$$5x_1 + 12x_2 \leq 60$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

11- حل المسألة الآتية بواسطة طريقة الرسم

$$\text{Max } z = x_1 + x_2$$

S.T

$$-x_1 + x_2 \leq -1$$

$$x_1 - x_2 \leq -1$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

12- أجب عن الفقرات التالية:

أ - أذكر عيوب الحل بطريقة الرسم البياني لحل نموذج البرمجة الخطية وشروط تطبيقها.

ب - ما المقصود بخط دالة الهدف لنموذج البرمجة الخطية؟

ج - هل يعتبر كل حل أمثل حل ممكن؟ وهل كل حل ممكن هو حل أمثل؟

د - يختلف الحل الأمثل للمشكلة إذا تغيرت قيود نموذج البرمجة الخطية. ناقش ذلك.

هـ - ما الفرق بين المتباينة والمعادلة في قيود البرمجة الخطية؟

13- ضع علامة (✓) و (✗) أمام العبارات التالية:

- 1- تعتمد دالة الهدف على قيمة المتغيرات. ()
- 2- في نموذج البرمجة الخطية إحلال علامة أو ب = في قيود المسألة يمكن تحسين قيمة دالة الهدف. ()
- 3- في نموذج البرمجة الخطية بواسطة القيود يمكن أن يتأثر إذا صادفنا القيد المتكرر. ()
- 4- التغير في توفر الطرق الأيمن يؤثر على قيمة دالة الهدف. ()
- 5- التغير في معاملات دالة الهدف (الثوابت) يؤثر في قيمة دالة الهدف. ()

14- حل المسألة الآتية بواسطة طريقة الرسم البياني

$$\begin{aligned}
 &\text{Max} \quad z = 6x_1 + 2x_2 \\
 &\text{S.T} \quad \\
 &\quad x_1 + x_2 \leq 4 \\
 &\quad 4x_1 + 3x_2 \leq 12 \\
 &\quad -x_1 + x_2 \geq 1 \\
 &\quad x_1 + x_2 \leq 6 \\
 &\quad x_1, x_2 \geq 0
 \end{aligned}$$

الفصل الخامس

طرق حل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكس

يتناول هذا الفصل بشيء من التفصيل المدعم بالأمثلة التطبيقية ، خطوات الأساسية لطريقة السمبلكس ، مع تقديم نبذة موجزة عن أهمية هذه الطريقة العلمية في حل الكثير من مسائل البرمجة الخطية.

5

الفصل الخامس

طرق حل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكس

Simplex Method

5.1 مقدمة

إن النظرية الأساسية لحل البرمجة الخطية هي نظرية السمبلكس. وتعتمد هذه النظرية على نظرية نقاط التقاطع (Extreme point theory) وتعتمد فكرة السمبلكس على خلفية واسعة من الجبر الخطي ومن المعروف أنه إذا وجد حل لمسألة البرمجة الخطية فإن المساحة التي تكونها معادلات القيود لابد أن تكون دالة مقعرة (Convex function).

لذلك من المفيد استخدام طريقة السمبلكس في تحديد عدد نقاط التقاطع التي أحياناً تكون كبيرة جداً في البحث عن الحل الأمثل.

وعلى سبيل المثال فإن مسألة تحتوي على 20 متغير و 10 قيود يمكن أن يكون لها 48.756 نقطة تقاطع وفقاً للقاعدة:

$$\frac{n!}{m!(n-m)!}$$

عليه يمكن تلخيص الخطوات الأساسية لطريقة السمبلكس على النحو التالي:

- 1- البحث أو تحديد نقاط التقاطع بين القيود (النقط الركنية لمنطقة الحل).
- 2- حساب طريقة الحركة من نقطة لأخرى لتحسين مستوى الحل أو بالأحرى مستوى قيمة دالة الهدف.
- 3- الاستمرار في النقطة الثانية حتى الوصول إلى الحل الأمثل أو لا حل.

وتتميز هذه الطريقة بقدرتها على التعامل مع عدد كبير من المتغيرات وباعتمادها على جبر المصفوفات بدلاً من الجبر العادي كما يؤدي التابع في أسلوب الحل إلى الوصول لنتيجة أفضل أو الحل الأمثل.

وبصفة عامة يسهل حل مسائل البرمجة الخطية للمسائل التي تحتوي معادلاتها على () أسهل منها في حالة (=) أو (\geq) مع شرط أن يكون الطرق الأيمن (bi) موجباً وفي حالة كونه سالباً يجب ضرب المعادلة في إشارة (-) قبل الشروع في الحل.

5.2 الخطوات الأساسية في تطبيق السبيلكس:

1- تعويل للمعادلات من المعادلات غير المتساوية إلى حالة التساوي:

أ- إذا كانت المعادلة على الصورة أقل من كما يلي:

$$a x_i \leq b_i \quad (5.1)$$

يجب أن نقدم متغير جديد إلى الجهة الشمال أسمه (s) Stack variable يرمز له x_s ≤ 0 ويعاد كتابة المعادلة (5.1) على النحو الآتي:

$$a x_i + x_s \leq b_i \quad (5.2)$$

وقيمة هذا المتغير:

$$x_s + b_i - a x_i \quad (5.3)$$

وعليه تكون قيمة هذا المتغير موجبة في حالة وجود فرق أو صفر في حالة التساوي عند الوصول إلى الحل الأمثل.

ب- إذا كانت المعادلة على صورة أكبر من كما يلي:

$$a_i x_i \geq b_i \quad (5.4)$$

يمكن ضرب المعادلة في -1 وتحول على الصورة التالية:

$$-a_i x_i - x_i = b_i \quad (5.3)$$

وفي هذه الحالة:

$$X_s = a_i x_i - b_i \quad (5.2)$$

5.3 أمثلة تطبيقية:

مثال 1:

إذا اعتبرنا المعادلتين التاليتين. فأوجد الحل الابتدائي للمتغيرات

$$4x_1 + x_2 \leq 20 \quad (4.8)$$

$$x_1 + 4x_2 \leq 40 \quad (4.9)$$

إذا أضفنا المتغير الفارق (Slack variable)، فيمكن كتابة المعادلات على النحو

الآتي:

$$4x_1 + x_2 + x_{s1} = 20 \quad (4.10)$$

$$x_1 + 4x_2 + x_{s2} = 40 \quad (4.11)$$

ويمكن معاملة المعادلات التي تحتوي على أكبر من (\geq) بواسطة إضافة المتغير الصناعي الفائض (artificial variable) حيث أن المتغير الصناعي لا توجد له أي قيمة طبيعية أو معنوية والغرض من إضافته الحصول الفوري على حل ابتدائي وبعدها تبدأ طريقة السمبلكس التي سوف توضح فيما بعد:

$$a x_i \leq b_i \quad (5.1)$$

يمكن كتابتها على الصورة:

$$a x_i + x_s + x_A = b_i \quad (5.13)$$

أما في حالة

$$a x_i = b_i \quad (5.14)$$

للحصول على حل ابتدائي وذلك بإضافة المتغير الصناعي فقط:

$$x_i + x_A = b_i \quad (5.15)$$

والأمثلة الآتية يمكن أن تعطي توضيح أكثر.

مثال 2:

حول المعادلات الآتية إلى صورة جاهزة لاستخدامها للحل بطريقة السمبلكس.

$$4 x_1 - 2 x_2 \leq 28$$

$$x_1 + x_2 \geq 5$$

$$4 x_1 + x_2 = 16$$

الحل:

$$4 x_1 - 2 x_2 + x_3 = 28$$

$$x_1 + x_2 - x_4 + x_5 = 5$$

$$4 x_1 + x_2 + x_6 = 16$$

طبقاً للخطوات السابقة ووفقاً للمعادلات فإن الحل الابتدائي:

$$x_3 = 28$$

$$x_5 = 5$$

$$x_6 = 16$$

2- أثر تعييل للمعادلات على دالة الهدف

إن اختيار المتغيرات التي يتخذ عليها القرار يؤثر مباشرة على قيمة دالة الهدف وهذا ينطبق سواء على إضافة (Slack variable) أو المتغير الصناعي (artificial variable)

عليه فإن أي دالة يضاف إليها هذين النوعين من المتغيرات سوف تعاد كتابتها على النحو الآتي:

$$\begin{aligned} \text{Maximize} \quad & Z = C_i X_i \\ \text{Maximize} \quad & \text{تصبح} \\ \text{Maximize} \quad & Z = c_i x_i + c_s x_s + c_A x_A \quad (5.16) \end{aligned}$$

نلاحظ أن الجزء $c_i x_i$ هو دالة الهدف الأصلية
أما الجزء $c_s x_s$ هو أثر إضافة على دالة الهدف.
أما الجزء الثالث $c_A x_A$ فهو أثر إضافة المتغير الصناعي على دالة الهدف.

مثال 3:

إذا أعطيت مسألة البرمجة الخطية التالية. المطلوب تغييرها على صيغة قابلة للحل بطريقة السمبلكس.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & z = 7 x_1 - 3 x_2 + 5 x_3 \\ \text{S.T} \quad & \\ & x_1 + x_2 + x_3 = \geq 9 \\ & 3 x_1 + 2 x_2 + x_3 \leq 12 \\ & x_1, x_2, x_3 \geq 0 \end{aligned}$$

الحل:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & Z = 7 x_1 - 3 x_2 - 5 x_3 + 0 x_{s1} - m x_{A1} - 0 x_{s2} \\ \text{S.T} \quad & \\ & x_1 + x_2 - x_{s1} + x_A = 9 \\ & 3 x_1 + 2 x_2 + x_3 + x_{s2} = 12 \\ & x_1, x_2, x_3, x_s, x_A, x_{s2} \geq 0 \end{aligned}$$

ويمكن صياغة هذه المسألة بصورة أسهل استعمالاً

$$\text{Min } Z = -7x_1 + 3x_2 - 5x_3 + 0x_4 - mx_5 - 0x_6$$

S.T

$$x_1 + x_2 - x_3 - x_4 + x_5 = 9$$

$$3x_1 + 2x_2 + x_5 + x_6 = 12$$

$$x_1, \dots, x_6 \geq 0$$

حيث:

$$x_4 = x_{s1}$$

$$x_5 = x_A$$

$$x_6 = x_{s2}$$

3- بعض التعريفات والرموز المهمة لطريقة السمبلكس:

$$\text{Maximize } Z = c x$$

S.T

$$A x = b$$

$$x \geq 0$$

حيث c مصفوفة الصف الواحد (n x 1)

A مصفوفة m x n

b مصفوفة عمود واحد (1 x m)

مثال 4:

إذا اعتبرنا مسألة البرمجة الخطية التالية حيث:

$$\text{Slacks } x_5, x_4$$

$$\text{MAX } Z = 5x_1 + 7x_2 + x_3 + 0x_4 + 0x_5$$

S.T

$$x_1 + 3x_2 - x_3 + x_4 = 12$$

$$5x_1 + 6x_2 + x_3 = 24$$

$$x \geq 0$$

هذه المسألة يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$\text{MAX} \quad Z = c x$$

S.T

$$A x = b$$

$$x \geq 0$$

$$c = [5 \ 7 \ 1 \ 0 \ 0]$$

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 3 & -1 & 1 & 0 \\ 5 & 6 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 12 \\ 24 \end{bmatrix}$$

أي مصفوفة B تسمى حل ابتدائي إذا حققت حل المعادلة $A x = b$ مع الأخذ في الاعتبار أن قيم x لـ $(x \geq 0)$ وإذا خالف هذا الشرط يسمى حل غير منظور. أي أن $x < 0$

∴ الحل الابتدائي لأي مسألة برمجة خطية

$$x_B = B^{-1}b$$

حيث x_B

$$x_B \begin{pmatrix} z_{B_1} \\ z_{B_2} \\ M \\ z_{B_m} \end{pmatrix}$$

مثال 5:

في المثال السابق إذا اخترنا

$$B = \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 0 & 5 \end{pmatrix}$$

$$B^{-1} = \begin{pmatrix} -1 & \frac{1}{5} \\ 0 & \frac{1}{5} \end{pmatrix}$$

$$x_B = \begin{pmatrix} -1 & \frac{1}{5} \\ 0 & \frac{1}{5} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 12 \\ 24 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{36}{5} \\ \frac{24}{5} \end{pmatrix}$$

$$\therefore x_{B1} = -\frac{36}{5}$$

$$x_{B2} = \frac{24}{5}$$

وبما أن $x_{B1} < 0$ \therefore هذا الحل غير منظور

مثال 6:

إذا اخترنا المتغيرات الابتدائية للحل x_3 ، x_4

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$xB = B^{-1}b = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 12 \\ 24 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12 \\ 24 \end{pmatrix}$$

طرق حل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكرس

$$x_{B1} = x_4 = 12 > 0$$

$$x_{B2} = x_4 = 24 > 0$$

∴ الحل حل ابتدائي ويقابله في دالة الهدف:

$$z = c_B x_B = (0,0) \begin{pmatrix} 12 \\ 24 \end{pmatrix} = 0$$

مثال 7:

$$\text{Max} \quad z = 3x_1 + x_2 + 2x_3$$

S.T

$$x_1 + 2x_2 + 4x_3 \leq 18$$

$$3x_1 + 2x_2 + 12x_3 \leq 54$$

$$x \geq 0$$

الحل:

$$\text{Min} \quad Z = 3x_1 + x_2 + 2x_3 + 0x_4 = 18$$

S.T

$$3x_1 + 2x_2 + 12x_3 + x_5 = 54$$

$$x \geq 0$$

$$c = [3 \quad 1 \quad 2 \quad 0 \quad 0]$$

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 & 1 & 0 \\ 3 & 2 & 12 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad b = \begin{pmatrix} 18 \\ 24 \end{pmatrix}$$

إذا اخترنا المتغيرات x_3 و x_2 كحل ابتدائي

$$B = \begin{pmatrix} 2 & 4 \\ 2 & 12 \end{pmatrix}$$

$$xB = B^{-1}b = \begin{pmatrix} \frac{3}{4} & -\frac{1}{4} \\ -\frac{1}{8} & \frac{1}{8} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 18 \\ 24 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{9}{2} \end{bmatrix}$$

بما أن $x_{B2} = x_{B1} (\geq 0)$

∴ قيمة Z المقابلة

$$Z = c_B x_B = (1 \quad 2) \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{9}{2} \end{pmatrix} = 9$$

نلاحظ أن العمود a_j في المصفوفة A يمكن كتابته على النحو الآتي:

$$a_j = y_1 b_1 + \dots + y_m b_m$$

$$= \sum_{i=1}^m y_i \cdot b_i$$

$$a_j = B y_i$$

$$y_i = B^{-1} a_j$$

$$y_i = \begin{pmatrix} y_{1,j} \\ y_{2,j} \\ \vdots \\ y_{m,j} \end{pmatrix}$$

وأن y_{ij} هو مضروب المصاحب لـ i في العمود B

لترمز إلى مصفوفة الصف a_j فمثلاً $y_{3,7}$ ترمز إلى العمود $3b$ في B و $a_7 = a_j$

$$\begin{aligned} Z_i &= y_{1,j} c_{B,1} + \dots + y_{m,j} c_{B,m} \\ &= c_B y_i \end{aligned}$$

∴ بالنظر إلى المثال السابق

$$y_1 = B^{-1}b_1$$

$$y_1 = \begin{bmatrix} \frac{3}{4} & -\frac{1}{4} \\ -\frac{1}{8} & \frac{1}{8} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{4} \end{bmatrix}$$

$$Z_1 = c_B y_1 = (1 \quad 2) \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{4} \end{pmatrix} = \left(\frac{1}{2} \right)$$

مثال 8:

$$\text{Min } z = -5x_1 + 2x_2 + 3x_3$$

S.T

$$3x_1 + x_2 + 2x_3 \leq 7$$

$$x_1 + x_2 \leq 3$$

$$x \geq 0$$

لصيغة القيود ودالة الهدف بحيث يمكن حلها بواسطة طريقة السمبلكس
نضيف (Slack) ونحول دالة الهدف من (Min) إلى (Max) بالضرب في (-).

$$\text{Min } Z = 5x_1 - 2x_2 + 3x_3 + 0x_4 + 0x_5 + 0x_6$$

S.T

$$3x_1 + x_2 + 2x_3 + x_4 = 7$$

$$x_1 + x_2 + x_5 = 12$$

$$x \geq 0$$

$$c = [5, -2, 3, 0, 0]$$

الذي يدخل في الحل
وبما أن a_3 و a_2 و a_1 ليست في الحل الابتدائي الأساسي
∴ لابد من حساب y_1, y_2, y_3 وكذلك

$$Z_1 - c_1, Z_2 - c_2, Z_3 - c_3$$

$$y_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$y_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$y_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$Z_j = c_j y_j$$

$$Z_1 = (0 \ 0) \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \end{pmatrix} = 0$$

$$Z_2 = (0 \ 0) \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = 0$$

$$Z_3 = (0 \ 0) \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = 0$$

$$Z_1 - c_1 = 0 - 5 = -5$$

$$Z_2 - c_2 = 0 - (-2) = 2$$

$$Z_3 - c_3 = 0 - 3 = -3$$

بما أن المسألة Max فإن احتمال:

$(Z_1 - c_1), (Z_3 - c_3)$ كليهما (-ve)

∴ لحساب المتغير الذي يدخل وذلك باستخدام القاعدة التالية

$$y_{B,1} = \min_i \left\{ \frac{x_{B,1}}{x_{1,i}}, \frac{x_{B,2}}{x_{2,i}} \right\} \quad \text{حيث } Y_{ij} > 0$$

$$= \min_i \left\{ \frac{7}{3}, \frac{2}{1} \right\} = \frac{2}{3}$$

$$\therefore y_{B,r} / y_{r,1} \text{ تقابل } y_{B,1} / y_{1,1}$$

التي تعني أن b_1 يجب أن تخرج عندما $r=1$

$$\bar{B} = (a_1, a_2) = (b_1, b_2) = \begin{pmatrix} 3 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$x_B^* = B^{-1}b = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & 0 \\ -\frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 7 \\ 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{7}{3} \\ \frac{2}{3} \end{pmatrix}$$

$$x_{B,1} = x_1 = \frac{7}{3}$$

$$x_{B,2} = x_2 = \frac{2}{3}$$

$$Z' = c'_B x_B = (5 \quad 0) \begin{pmatrix} \frac{7}{3} \\ \frac{2}{3} \end{pmatrix} = \frac{35}{3}$$

الحساب هل يمكن

$$Z'_2 - c'_2, \quad Z'_3 - c'_3, \quad Z'_4 - c'_4$$

$$y_2 = B'^{-1}a_2 = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & 0 \\ -\frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{2}{3} \end{pmatrix}$$

$$y_1 = B'^{-1}a_3 = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & 0 \\ -\frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2}{3} \\ -\frac{2}{3} \end{pmatrix}$$

$$y'_4 = B'^{-1}a_4 = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & 0 \\ -\frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} \end{pmatrix}$$

$$Z'_2 = c'_B y'_2 = (5 \ 0) \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \\ \frac{2}{2} \\ \frac{2}{3} \end{pmatrix} = \frac{5}{3}$$

$$Z'_3 = c'_B \hat{y}_1 = (5 \ 0) \begin{pmatrix} \frac{2}{3} \\ \frac{2}{3} \\ -\frac{2}{3} \end{pmatrix} = \frac{10}{3}$$

$$Z'_4 = c'_B y_4 = (5 \ 0) \begin{pmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} \end{pmatrix} = \frac{5}{3}$$

$$\hat{Z}_2 - c_2 = \frac{5}{3} - (-2) = \frac{11}{3}$$

$$\hat{Z}_3 - c_3 = \frac{10}{3} - 3 = \frac{1}{3}$$

$$\hat{Z}_4 - c_4 = \frac{5}{3} - 0 = \frac{5}{3}$$

وبما أن كل $Z_j - c_j$ موجبة
 \therefore هذا الحل هو الحل الأمثل

$$x^* = \left(\frac{7}{3} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad \frac{2}{3} \right)$$

$$z^* = -\frac{35}{3}$$

5.4 الخطوات الأساسية لطريقة السمبلكس:

- 1- البحث عن حل ابتدائي موجب ($x B = B^{-1}b \quad x \geq 0$).
- 2- اختبار $(2j - ci) \geq 0$.
- أذهب إلى الخطوة رقم (6) وغيره أذهب إلى الرقم (3).
- 3- إذا لأي $(zj - cj) < 0$ لا يوجد أي عنصر موجب لـ y_1 فإن المسألة ذات حل غير محدود المساحة (Unbounded crece).
- 4- استخدم القاعدة التالية:

$$\frac{X_{B,r}}{Y_{r,j}} = \min \left(\frac{X_{B,r}}{Y_{r,j}}, y_{ij} > 0 \right)$$

- 5- حقق حل ابتدائي جديد وأوجد قيمة المتغيرات وقيمة دالة الهدف وأرجع إلى الخطوة رقم (2).
- 6- إذا تحقق الحل وأن أي متغير صناعي مازال في الحل الابتدائي بقيمة موجبة فإن المسألة لا يوجد لها حل، غير يعتبر الحل الأمثل مع ملاحظة أن $zj - cj \leq 0$.

5.5 مسائل:

1- حل المسألة التالية:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Maximize} & z = 4x_1 - 7x_2 + x_3 \\
 \text{S.T} & \\
 & x_1 + 2x_2 - x_3 = 12 \\
 & 3x_1 + x_2 \leq 18 \\
 & x_3 \geq 2 \\
 & x_1, x_2, x_3 \geq 0
 \end{array}$$

2- حل المسألة التالية:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Maximize} & z = 2x_1 + x_2 - x_3 \\
 \text{S.T} & \\
 & x_1 + 3x_2 \geq 20 \\
 & 2x_1 + x_2 + x_3 \leq 15 \\
 & x_1, x_2, x_3 \geq 0
 \end{array}$$

3- حل المسألة التالية:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Maximize} & z = 10x_1 + 20x_2 \\
 \text{S.T} & \\
 & 5x_1 + 18x_2 \leq 40 \\
 & 5x_1 + 3x_2 \leq 30 \\
 & x_1, x_2 \geq 0
 \end{array}$$

4- حل المسألة التالية:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Maximize} & z = 3x_1 + 2x_2 \\
 \text{S.T} & \\
 & 5x_1 + x_2 \geq 10 \\
 & 2x_1 + 2x_2 \leq 12
 \end{array}$$

$$x_1 + 4 x_2 \geq 12$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

5- حل المسألة التالية:

Maximize

$$z = 6 x_1 + 8 x_2$$

S.T

$$4 x_1 + x_2 \leq 20$$

$$x_1 + 4 x_2 \leq 40$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

6- حل المسألة التالية:

Maximize

$$z = 6 x_1 + 8 x_2$$

S.T

$$2 x_1 + x_2 \geq 4$$

$$x_2 \geq 2$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

7- حل المسألة التالية:

Maximize

$$z = 6 x_1 + 4 x_2$$

S.T

$$x_1 + x_2 \leq 3$$

$$3x_1 + x_2 \leq 10$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

8- حل المسألة التالية:

Maximize

$$z = 30 x_1 + 50 x_2$$

S.T

$$2x_1 + x_2 \leq 16$$

$$x_1 + 2 x_2 \leq 11$$

$$x_1 + 3 x_2 \leq 11$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

الفصل السادس

طرق حل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكس بشكل الجداول

يأتي هذا الفصل مكملًا وداعمًا للفصل الخامس. حيث يكون التركيز منصبا على الجداول كما كان مناسبًا لتكرين المعلومات بواسطة طريقة السمبلكس. ومن الطرق المتبعة في هذا المجال والتي يناقشها هذا الفصل طريقة القيمة الكبرى M لحل مسائل البرمجة الخطية. كما يتناول الفصل بعض الظواهر الشاذة لحل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكس.

6

طرق حل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكس بشكل الجداول The Simplex Method Tableau and Computation

6.1 ملتمة

تعتبر الجداول المعدة لاستخدامها في حل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكس كمكان مناسب لتخزين المعلومات بطريقة مناسبة بغض النظر عن نوع المعلومات. وهذه المعلومات تشمل:

1- دالة اهدف $z = C_B x_B$

2- الحل الابتدائي الأساسي $x_B = B^{-1} b$

3- مصفوفة الإتاحة $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$

4- معامل المتغير $y_i = B^{-1} \theta_i$

حيث $z_j - C_j y_j$

فرق التغير في $C_j - z_j$ الذي بناء عليه يمكن اتخاذ القرار على أن الحل أمثل أو ذو مساحة غير محدودة أو لا يوجد إمكانية حل.

وبناء على هذه المعلومات يمكن تلخيص الجدول على النحو التالي:

(6-1) الجدول العام لحل مسائل البرمجة الخطية بواسطة السمبلكس

| معامل المتغيرات التي تدخله في الحل | المتغيرات الأساسية في حكم الحل | المتغيرات | | | | قيمة الحل الابتدائي للمتغيرات |
|--|--------------------------------------|-------------|-------------|----------|-------------|-------------------------------------|
| | | x_1 | x_2 | ..... | x_n | |
| C_{B1} | x_{B1} | $y_{1,1}$ | $y_{1,2}$ | ..... | $y_{1,n}$ | x_{B1} |
| \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots |
| C_{Bm} | x_{Bm} | $y_{m,1}$ | $y_{m,2}$ | ..... | $y_{m,n}$ | x_{Bm} |
| | | $Z_1 - c_1$ | $Z_2 - c_2$ | ..... | $Z_n - c_n$ | z |

(6-2) الجدول العام بالرموز

| Basic Value | | C_1 | C_2 | ..... | C_B | |
|-------------|----------|-------------|-------------|----------|-------------|----------|
| C_{B1} | x_{B1} | y_{11} | y_{12} | ..... | y_{1n} | x_{B1} |
| \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots |
| C_{Bm} | x_{Bm} | y_{m1} | y_{m2} | ..... | y_{mn} | x_{Bm} |
| | | $Z_1 - c_1$ | $Z_2 - c_2$ | ..... | $Z_n - c_n$ | z |

مثال 6.1:

إذا أعطيت المعلومات التالية أوجد الحل الابتدائي للمسألة:

Maximize

$$z = 6x_1 + 4x_2$$

S.T

$$4x_1 + x_2 \leq 20$$

$$x_1 + 4x_2 \leq 40$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

$$\text{Max } Z = 6x_1 + 8x_2 + 0x_3 + 0x_4$$

S.T

$$4x_1 + x_2 + x_3 = 20$$

$$x_1 + 4x_2 + x_4 = 40$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

| C | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| Z = | -6 | -8 | 0 | 0 | 0 |
| x_3 | 4 | 1 | 1 | 0 | 20 |
| x_4 | 1 | 4 | 0 | 1 | 4 |

$$\left(\frac{20}{1}, \frac{4}{4} \right)$$

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \Big| = I$$

$$y_1 = B^{-1} a_j = I^{-1} a_j = I a_j = a_j \quad \forall s$$

$$x_1 = B^{-1} b = I^{-1} b = I b = b$$

$$z = C_B x_B = (0 \ 0) \begin{pmatrix} 20 \\ 40 \end{pmatrix} = 0$$

$$Z_j = C_B y_j - C_j$$

$$z_1 = C_1 = 0 - 6 = -6$$

$$z_2 = C_2 = 0 - 8 = -8$$

$$z_3 = C_3 = 0 - 0 = 0$$

$$z_4 = C_4 = 0 - 0 = -0$$

6.2 حل مسألة البرمجة الخطية بطريقة جداول السمبلكس:

عند كل محاولة تقوم عملية حل المعادلات الخطية الآتية بطريقة السمبلكس

$$B x_B = b$$

$$W B = C_B$$

$$B y = a$$

التي تكون مكونة لنظام البرمجة الخطية التالي:

$$\text{Min } z$$

$$\text{Subject to: } z - C_B x_B - C_N x_N = 0 \quad (6.1)$$

$$B x_B + N x_N = b \quad (6.2)$$

$$x_B, x_N \geq 0$$

من المعادلة 6.1

$$x_B + B^{-1} N x_N = B^{-1} b$$

بضرب المعادلة (6.3) في C_B وإضافتها إلى المعادلة (6.1)

$$z + 0 x_B + (C_B B^{-1} N - C_N) x_N = C_B B^{-1} b$$

إذا كانت حالياً $x_N = 0$

وفق المعادلتين (6.3) ، (6.4)

نحصل على

$$x_B = B^{-1} b$$

$$z = C_B B^{-1} b$$

ويمكن كتابة هذه المعادلات في صورة جدول على النحو الآتي:

| | z | x_B | x_N | الطرف الأيمن | |
|-------|---|-------|----------------------|----------------|------------|
| Z | 1 | 0 | $C_B B^{-1} N - C_N$ | $C_B B^{-1} b$ | صف 0 |
| x_B | 0 | 1 | $B^{-1} N$ | $B^{-1} b$ | صف 1 إلى m |

من الصف صفر نلاحظ هل الحل هو الحل الأمثل بشرط أن $(z_j - C_j \leq 0)$ وغير ذلك أن المتغيرات غير الأساسية في الحل تدخل الحل إلى حين الوصول للحل الأمثل.

وفي حالة أن $(z_j - C_j) \geq 0$ و $y_k \geq 0$ فإن الحل يكون غير محدود المساحة (Unbounded area)

ويمكن تحديد المتغير الذي يخرج من المتغيرات الأساسية (التي لها حل) وتحديد المتغير الذي يدخل في الحل وبالتالي يسمى متغير أساسي (تم شرحه مسبقاً).

6.3 الخطوات الأساسية لطريقة السمبلكس:

أ- الخطوة الابتدائية: وذلك بإيجاد الحل الابتدائي على النحو التالي:

| | z | X_B | X_B | الطرف الأيمن |
|-------|---|-------|----------------------|--------------|
| Z | 1 | 0 | $C_B B^{-1} N - C_N$ | $C_B b'$ |
| X_B | 0 | 1 | $B^{-1} N$ | b' |

ب- الخطوة الأساسية: إذا افترضنا أن

$$z_k - C_k = \text{Max} \{ z - c_j \mid j \in R \} \quad z_k - C_k \leq 0$$

توقف ويعتبر الحل هو الحل الأمثل (تصغير) إذا لم يتوفر الشرط المذكور أعلاه اختر y_k توقف، فإن الحل هو الأمثل لمساحة غير محدودة خلال الاتجاه.

$$\left\{ \begin{bmatrix} B^{-1}b \\ 0 \end{bmatrix} + x_k \begin{bmatrix} -y_k \\ e_k \end{bmatrix} : x_k \geq 0 \right\}$$

حيث c_k مصفوفة الصف الواحد وتحتوي على كل صفر ما عدا عند موقع محدد K . إذا $y_k > 0$ أحسب الموقع r

$$\frac{b_r}{y_{rk}} = \min \left\{ \frac{b_i}{y_{ik}} : y_{rk} \geq 0 \right\}$$

واستمر إلى الخطوات التكرارية حتى الحل الأمثل أو غيره.

مثال 6.1

$$\text{Min } z = x_1 + x_2 - 4 x_3$$

S.T

$$x_1 + x_2 + 2 x_3 \leq 9$$

$$x_1 + x_2 - x_3 \leq 2$$

$$-x_1 + x_2 + x_3 \leq 4$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

بإضافة (Slack) المتغيرات التي تحصل على إشارة التساوي

$$\text{Min } z = x_1 + x_2 + 4 x_3 + 0 x_4 + 0 x_5 = 0 x_6$$

S.T

$$x_1 + x_2 + 2 x_3 + x_4 = 9$$

$$x_1 + x_2 - x_3 + x_5 = 2$$

$$-x_1 + x_2 + x_3 + x_6 = 4$$

وبما أن كل $b \geq 0$ إذا يمكن اختيار المتغيرات الأساسية التي نبدأ بها الحل

$$B = [x_4, x_5, x_6]$$

محاولة رقم 1

طرق حل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكس بشكل الجداول

↓

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الطرف الأيمن |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| z | 1 | -1 | -1 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| x_4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 9 |
| x_5 | 1 | 1 | -1 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| x_6 | -1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 4 |

←

إذا نظرنا إلى الصف صفر (0) نلاحظ وجود قيمة موجبة واحدة مناظرة إلى x_3 وبالتالي بقيمة $z_3 - C_1 \geq 0$ وهذا يحدد دخول x_3 إلى الحل وتصبح من المتغيرات الأساسية لتحسين الوصول إلى الحل الأمثل.

ويمكن تحديد (x) التي تخرج من الحل الأساسي من ضمن (x_4, x_5, x_6) وذلك باستخدام القاعدة بقسمة العمود (الطرق اليمن) على العمود الذي تم اختياره ونختار أقل قيمة موجبة.

$$\left(\frac{9}{2}, \frac{2}{-1}, \frac{4}{1}\right)$$

$$= (4.5, -2, 4)$$

∴ أقل قيمة موجبة هي 4 المقابلة لـ x_6 .

عليه يجب أن تخرج x_6 وتدخل x_3 وتصبح المحاولة الثانية على الشكل الآتي:

↓

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| z | 1 | 3 | -5 | 0 | 0 | -4 | -16 |
| x_4 | 0 | 3 | -1 | 0 | 1 | -2 | 1 |
| x_5 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 6 |
| x_6 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 4 |

←

بالنظر إلى الصف 0 مازالت توجد قيمة موجبة ($Z_j - C_j$) مقابلة إلى $x_j(3)$ وتطبق نفس الخطوات للمحاولة الثالثة.

المحاولة الثالثة:

| | | | | | | | | |
|-------|---|-------|----------------|-------|---------------|-------|----------------|----------------|
| | | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | |
| z | 1 | 0 | -4 | - | -1 | 0 | -2 | 17 |
| x_1 | 0 | 1 | $-\frac{1}{3}$ | 0 | $\frac{1}{3}$ | 0 | $-\frac{2}{3}$ | $\frac{1}{3}$ |
| x_5 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 6 |
| x_3 | 0 | 0 | $\frac{2}{3}$ | 1 | $\frac{1}{3}$ | 0 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{13}{3}$ |

وبما أن كل $z_j - C_j \leq 0$ لجميع المتغيرات غير الأساسية.

∴ الحل هو الأمثل وقيم الحل هي:

$$x_1 = \frac{1}{3} \quad x_3 = \frac{13}{3} \quad x_5 = 0$$

$$x_2 = 0 \quad x_4 = 0 \quad x_6 = 0$$

$$z = -17$$

6.4 طريقة القيمة الكبرى M لحل مسائل البرمجة الخطية (Big M)

لقد شرحنا سابقاً أسباب إضافة المتغير الصناعي (Artificial variable) وذلك لإنشاء الحل الابتدائي لمسائل البرمجة الخطية بالإضافة إلى أن وجود هذا المتغير بقيمة موجبة تعني أن الحل الحالي ليس حلاً ملموساً لأي مسألة ويمكن التخلص من المتغير الصناعي وذلك بإضافة إلى دالة الهدف بموافق ذو قيمة كبيرة جداً وغير مشجعة، كمتغير في القيود وتصبح بذلك إمكانية التخلص منه سريعة جداً.

ولتوضيح هذه الظاهرة مع شرط أن $b \geq 0$

$$\begin{array}{ll}\text{Min} & z = C_x \\ \text{S.T} & \\ & Ax = b \\ & x \geq 0\end{array}$$

بإضافة المتغير الصناعي في حالة التساوي

$$\begin{array}{l}Ax + x_s = b \\ x_1, x_2 \geq 0\end{array}$$

إن بداية المتغيرات الأساسية للحل يمكن أن تعطي على هيئة:

$$x_s = b$$

ودالة الهدف طورت بطريقة الطرد المتغير الصناعي وذلك بإضافة قيمة كبيرة خيالية لمعاقبة وجود المتغير الصناعي في الحل وبالتحديد يسمى (M) وعليه يعاد صياغة المسألة على النحو التالي:

$$\begin{array}{ll}\text{Min} & z = C_x + \text{mix}_s \\ \text{S.T} & \\ & Ax + x_s = b \\ & x_1, x_2 \geq 0\end{array}$$

حيث M قيمة موجبة كبيرة جداً، والصفر Mixa يمكن تعليله كعقوبة يدفعها الحل الذي يحتوي على $x_s \neq 0$ بالرغم من أن $x = 0$ ، $x_s = b$ كبداية للحل فقط وبإضافة M الكبيرة تسعى طريقة السمبلكس وحدها لإزالة x_s (المتغير أو المتغيرات الصناعية).

ولتوضيح هذه الطريقة نقدم المثال التالي:

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \quad & z = x_1 + 2x_2 \\
 \text{S.T} \quad & x_1 + x_2 \geq 2 \\
 & -x_1 + x_2 \geq 1 \\
 & x_2 \leq 3 \\
 & x_1, x_2 \geq 0
 \end{aligned}$$

أولاً: يجب إضافة slacks x_3, x_4, x_5 ومتغيرات صناعية x_6, x_7 وتصبح المسألة على الصيغة التالية:

$$\begin{aligned}
 \text{Max} \quad & Z = x_1 - 2x_2 - 0x_3 - 0x_4 + 2x_5 + Mx_6 + Mx_7 \\
 \text{S.T} \quad & x_1 + x_2 + x_3 + x_6 = 2 \\
 & -x_1 + 4x_2 - x_4 + x_7 = 1 \\
 & x_2 + x_5 = 3 \\
 & x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 \geq 0
 \end{aligned}$$

ويمكن كتابتها في جداول السمبلكس على النحو التالي:

↓

| | z | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | الطرف الأيمن |
|------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| Z | 1 | -1 | 2 | 0 | 0 | 0 | -M | -M | 0 |
| لا يوجد | 0 | 1 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | 0 | -1 | 1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3 |

طرق حل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكس بشكل الجداول

بضرب الصف رقم (1) والصف رقم (2) وجمعها على الصف صفر

| | Z | x ₁ | x ₂ | x ₃ | x ₄ | x ₅ | x ₆ | x ₇ | الطرف الأيمن |
|----------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Z | 1 | -1 | 2+2M | -M | -M | 0 | 0 | 0 | 2 |
| x ₆ | 0 | 1 | 1 | -1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| x ₇ | 0 | -1 | 1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| x ₅ | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |

بالنظر في صف 0 $C_j - Z_j \geq 0$ بالنسبة x_2 وعليه نختار x_2 للدخول في الحل الأساسي ونخرج x_7 وفق القاعدة:

$$\left(\frac{2}{1}, \frac{1}{1}, \frac{3}{1} \right)$$

| | Z | x ₁ | x ₂ | x ₃ | x ₄ | x ₅ | x ₆ | x ₇ | |
|----------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| Z | 1 | 1+2M | 0 | -M | 2+M | 0 | 0 | 2-2M | -2+M |
| x ₆ | 0 | 2 | 0 | -1 | 1 | 0 | 1 | -1 | 1 |
| x ₇ | 0 | -1 | 1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| x ₅ | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | -1 | 2 |

| | Z | x ₁ | x ₂ | x ₃ | x ₄ | x ₅ | x ₆ | x ₇ | الطرف الأيمن |
|----------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|
| Z | 1 | 0 | 0 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{3}{2}$ | 0 | $-\frac{1}{2}-M$ | $-\frac{2}{3}-M$ | $-\frac{2}{3}$ |
| x ₆ | 0 | 1 | 0 | $-\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | 0 | $\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ |
| x ₇ | 0 | 0 | 1 | $-\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | 0 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{3}{2}$ |
| x ₅ | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | $-\frac{1}{2}$ | $\frac{3}{2}$ | $\frac{3}{2}$ |

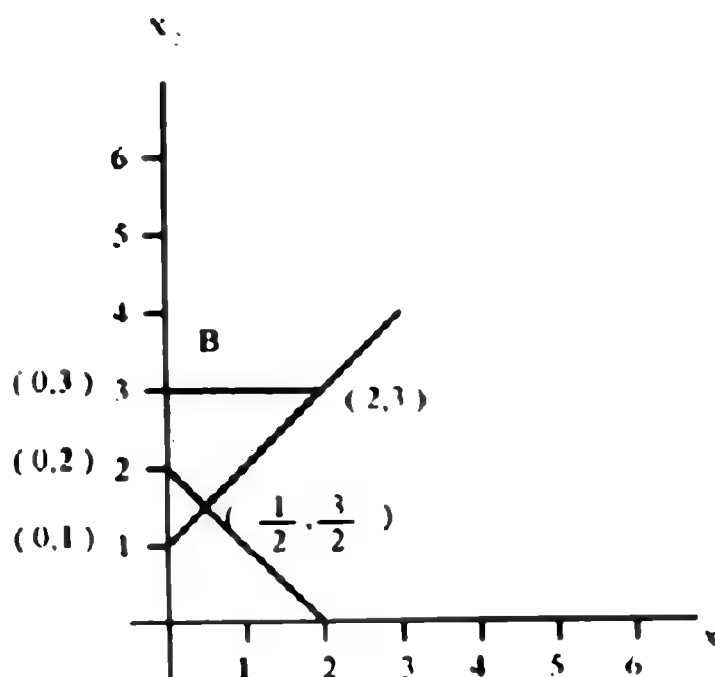
| | z | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | الطرف الأيمن |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| z | 1 | -3 | 0 | 2 | 0 | 0 | -2-M | M | -4 |
| x_4 | 0 | 2 | 0 | -1 | 1 | 0 | 1 | -1 | 1 |
| x_2 | 0 | 1 | 1 | -1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| x_5 | 0 | -1 | 0 | 1 | 0 | 1 | -1 | 0 | 1 |

| | z | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | الطرف الأيمن |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| z | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | -2 | -M | -M | -6 |
| x_4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | -1 | 2 |
| x_2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| x_1 | 0 | -1 | 0 | 1 | 0 | 1 | -1 | 0 | 1 |

بما أن كل $z_j - C_j \geq 0$ كل متغير لا يوجد في الحل الأساسي

∴ آخر جدول تعتبر الحل الأمثل (Optimum)

ويوضح الرسم الحل البياني للمسألة.



مثال 6.3:

(في حالة عدم وجود حل متاح للمسألة (Infeasible solution)

$$\text{Min } z = -x_1 - 3x_2 + x_3$$

S.T

$$x_1 + x_2 + 2x_3 \leq 4$$

$$-x_1 + x_3 \geq 4$$

$$x_3 \geq 3$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

| z | x ₁ | x ₂ | x ₃ | x ₄ | x ₅ | x ₆ | x ₇ | x ₈ | الطرف الأيمن |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 1 | 1 | 3 | -1 | 0 | 0 | 0 | -M | -M | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 0 | -1 | 0 | 1 | -1 | -1 | 0 | 1 | 0 | 4 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 1 | 3 |

بضرب الصف 2 و 3 في M وإضافتهما إلى الصف 0

| z | x ₁ | x ₂ | x ₃ | x ₄ | x ₅ | x ₆ | x ₇ | x ₈ | الطرف الأيمن |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| z | 1 | 1-M | 3 | -1+2M | 0 | -M | -M | 0 | 7M |
| ← x ₄ | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| x ₇ | 0 | -1 | 0 | 1 | 0 | -1 | 0 | 1 | 4 |
| x ₈ | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 3 |

بالنظر في الصف 0 نلاحظ وجود قيم لغير المتغيرات الأساسية.

مثال $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ أن $(z_j - C_j \geq 0)$ وبالتالي باختيار أكبر قيمة موجبة لتقرير المتغير الذي يدخل الحل وباستخدام القاعدة بقسمة $\frac{b}{x_r}$ حيث r العمود المختار.

$$\left(\frac{4}{2}, \frac{4}{1}, \frac{3}{1}\right) \Rightarrow (2, 4, 3)$$

وباعتبار 2 أ ل قيمة موجبة عليه تدخل x_3 وتخرج x_4 .

| | | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | الطرف الأيمن |
|-------|---|--------------------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| z | 1 | $\frac{3}{2} - 2M$ | $\frac{7}{2} - M$ | 0 | $\frac{1}{2} - M$ | -M | -M | 0 | 0 | $2 + 3M$ |
| x_6 | 0 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 | $\frac{1}{2}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| x_7 | 0 | $-\frac{3}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | 0 | $-\frac{1}{2}$ | -1 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| x_5 | 0 | $-\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | 0 | $-\frac{1}{2}$ | 0 | -1 | 0 | 1 | 1 |

بما أن M قيمة موجبة وكبيرة جداً وأن $z_j - C_j \leq 0$ لجميع المتغيرات غير الأساسية في الحل، عليه فإن شروط الحصول على الحل الأمثل قد تحققت؛ ولكن بما أن المتغيرات الصناعية x_7, x_8 موجودة بالحل وعند قيم موجبة عالية وفقاً للقاعدة فإن الحل خيالي وغير موجود.

مثال 6.4 الحل موجود ولكن غير محدود المساحة:

(Unbounded optimal solution)

$$\text{Min } Z = -x_1 - 3x_2$$

S.T

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1$$

$$-x_1 + x_2 + 2x_3 - x_4 = 1$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$$

بإضافة متغيرات صناعية للتساوي حسب القاعدة هما x_5 و x_6 وبالتالي يعاد كتابة المسألة على النحو الآتي:

$$\text{Min } Z = -x_1 - x_2 + Mx_5 + Mx_6$$

S.T

$$x_1 - x_2 - x_3 + x_5 = 1$$

$$-x_1 + x_2 + 2x_3 - x_4 + x_6 = 4$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0$$

ويمكن نقل المسألة على هيئة الجداول على النحو الآتي:

\downarrow

| z | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الطرف الأيمن |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | -M | -M | 0 |
| 0 | 1 | -1 | -1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | -1 | 1 | 2 | -1 | 0 | 1 | 1 |

يضرب الصف الأول والثاني في صفر وإضافتها إلى الصف صفر

$$\downarrow$$

| | z | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الطرف الأيمن |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| z | 1 | 1 | 1 | M | -M | 0 | 0 | 2M |
| x_5 | 0 | -1 | -1 | -1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| x_6 | 0 | 1 | 2 | 2 | -1 | 0 | 1 | 1 |

$$\downarrow$$

| | z | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الطرف الأيمن |
|-------|---|--------------------|--------------------|-------|----------------|-------|----------------|----------------|
| z | 1 | $1 + \frac{1}{2}M$ | $1 - \frac{1}{2}M$ | 0 | $\frac{1}{2}M$ | 0 | $\frac{1}{2}M$ | $-\frac{2}{5}$ |
| x_5 | 0 | $\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | 0 | $-\frac{1}{2}$ | 1 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ |
| x_3 | 0 | $-\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 | $-\frac{1}{2}$ | 0 | $-\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ |

$$\leftarrow$$

| | z | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الطرف الأيمن |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| z | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | -M-2 | -M-1 | -3 |
| x_1 | 0 | 1 | 0 | 0 | -1 | 2 | 1 | 3 |
| x_5 | 0 | 0 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 2 |

ونلاحظ أن $z_j - C_j \geq 0$ المقابلة لـ x_2 قيمة موجبة لكم $x_2 \leq 0$ عليه فإن المسألة ذات حل محدود ولأن المتغيرات الصناعية x_5, x_6 آلت إلى الصفر.

مثال 6.5:

$$\text{Min } Z = -x_1 - 3x_2$$

S.T

$$x_1 - x_2 + 2x_3 \geq 4$$

$$x_1 - 2x_2 + x_3 \leq 2$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

طرق حل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكس بشكل الجداول

$$\text{Min } Z = x_1 - x_2 + M x_5 + 0 x_6 + 0 x_4$$

S.T

$$x_1 + x_2 + 2x_3 - x_4 + x_5 = 4$$

$$x_1 - 2x_2 + x_3 + x_6 = 2$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0$$

عليه يمكن كتابة المسألة على هيئة الجداول على النحو الآتي:

↓

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الطرف الأيمن |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| z | -1 | 1 | -1 | 0 | M | 0 | 0 |
| x_5 | 1 | 1 | 2 | -1 | 1 | 0 | 4 |
| x_6 | 1 | -2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |

ي ضرب الصف الأول والثاني في صفر وإضافتها إلى الصف (0)

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الطرف الأيمن |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| z | -1-M | 1-m | -2M-1 | -M | 0 | 0 | 4-M |
| x_5 | 1 | 1 | 2 | -1 | 1 | 0 | 4 |
| x_6 | 1 | -2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 |

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الطرف الأيمن |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| z | M | -6M-1 | 0 | M | 0 | 2M+1 | 2 |
| x_5 | -1 | 5 | 0 | -1 | 1 | -2 | 0 |
| x_3 | 1 | -2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الطرف الأيمن |
|-------|----------------|-------|-------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| z | $-\frac{1}{5}$ | 0 | 0 | $-\frac{1}{5}$ | $M+\frac{1}{5}$ | $\frac{3}{5}$ | 2 |
| x_5 | $-\frac{1}{5}$ | 1 | 0 | $-\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{5}$ | $-\frac{2}{5}$ | 0 |
| x_3 | $\frac{3}{5}$ | 0 | 1 | $-\frac{2}{5}$ | $\frac{2}{5}$ | $\frac{1}{5}$ | 2 |

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الطرف الأيمن |
|-------|-------|-------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| z | 0 | 0 | $-\frac{1}{5}$ | $-\frac{1}{5}$ | $M+\frac{1}{5}$ | $\frac{3}{5}$ | $\frac{8}{3}$ |
| x_2 | 0 | 1 | $\frac{1}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ |
| x_1 | 1 | 0 | $\frac{5}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ | $\frac{2}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{10}{3}$ |

بما أن $y_{12} \leq 0$ والمتغيرات الصناعية كلها آلات إلى الصفر، فإن الحل ذو مساحة غير محدودة. وتوجد قيمة موجبة $0 \leq z - C_j$ مقابلة x_4 .

مثال 6.6

$$\text{Min } Z = -x_1 - x_2$$

S.T

$$x_1 - x_2 \geq 1$$

$$-x_1 + x_2 \geq$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

بإضافة Slack x_3, x_4 وإضافة المتغيرات الصناعية x_5, x_6 للوصول إلى حالة التساوي وبالتالي يمكن كتابة المسألة على النحو التالي:

$$\text{Min } Z = -x_1 - x_2 - 0x_3 + Mx_5 + Mx_6$$

S.T

طرق حل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكرس بشكل الجداول

$$x_1 + x_2 + x_5 = 1$$

$$-x_1 + x_2 - x_4 + x_6 = 1$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0$$

↓

| | Z | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الطرف الأيمن |
|---|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | -M | -M | 0 |
| 0 | 1 | 1 | -1 | -1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | -1 | 1 | 1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 1 |

ي ضرب الصف الأول والصف الثاني في M وإضافتها إلى الصف صفر.

| | Z | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الطرف الأيمن |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| Z | 1 | 1 | 1 | -M | -M | 0 | 0 | 2M |
| x_5 | 0 | 1 | -1 | -1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| x_6 | 0 | -1 | 1 | 0 | -1 | 0 | 1 | 2 |

| | Z | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الطرف الأيمن |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| Z | | 0 | 2 | 1-M | -M | -1 | 0 | 2M-1 |
| x_1 | 0 | 1 | -1 | -1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| x_6 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | 1 | 1 | 2 |

نلاحظ أن الصف صفر الذي يحتوي على $Z_j - C_j$ توجد قيم المتغيرات الغير داخلية في أكبر من الصفر (≥ 0) ولا يمكن إدخال أي متغير آخر لتحسين الحل نظراً لعدم إمكانية تحسين الحل وفق القاعدة ($\frac{2}{5}, \frac{1}{-1}$) لا يجوز اختيار أحد العناصر وبدل على عدم توفر حل يحقق هذه المسألة.

6.5 بعض الظواهر الشاذة لحل مسائل البرمجة الخطية بواسطة طريقة السمبلكس:

1- المتغيرات الغير محددة المدى ($-\infty < x_i < +\infty$) (Unrestricted variables)

من خلال فصول هذا الكتاب نلاحظ أن المتغيرات التي تم التعامل معها كلها ذات خاصية أن $x_i \geq 0$.

وبالرغم من ذلك نواجه أحياناً بعض المتغيرات التي حدودها من $-\infty$ إلى $+\infty$.

مثال أن:

$$-\infty < x_3 < +\infty$$

ويمكن تحويلها إلى الشكل التالي:

$$x_3 = x_1 - x_1$$

$$x_1' \geq 0$$

$$x_1 \geq 0$$

ونعامل x_1 إذا كانت من ضمن المتغيرات في الحل الأساسي $x_1' \geq 0$ وتعامل x_3

إذا كانت من ضمن المتغيرات في الحل الأساسي على النمو $x_3 \leq 0$

2- تكرار القيد (Redundant constraint)

يقصد بتكرار القيد الذي نادراً ما يحصل في صياغة المسائل وجود القيد الذي لا يؤثر في طبيعة الحل.

3- الانحراف (Degeneracy)

يقصد بالانحراف عندما يوجد متغيراً أساسياً واحد أو أكثر يكون له قيمة صفر، وتشكل هذه الظاهرة ما يلي:

- أ - عدم التحسن في دالة الهدف عندما يتحرك الحل من نقطة إلى أخرى كما هو الحال بواسطة الرسم أو الجداول.
- ب- من الممكن أن تنتقل من نقطة إلى أخرى في دائرة لا يمكن التحسن فيها أبداً في دالة الهدف للوصول إلى الحل الأمثل.

6.6 دراسة حالة Case study

تم اختيار مصنع الورق المقوى بالزهره كحالة للدراسة وتطبيق الأسلوب الرياضي لما يميز هذا المصنع عن المصانع الأخرى لكونه يعتمد على الإنتاج حسب الطلب ولا يوجد لديه إنتاج مصمم مسبقاً وبالتالي كان تطبيق الأسلوب الرياضي عليه ممكناً ويمكن الاستفادة من نتائجه بغرض تطبيقه في تصميم عمليات الإنتاج.

مقدمة عن المصنع:

يعتبر مصنع الورق المقوى (الكرتون) من إحدى القلاع الصناعية بالجماهيرية العظمى.

يقع هذا المصنع بمنطقة الزهره وقد أقيم على مساحة إجمالية وقدرها (15.000) متر مربع منها (17.000) متر مربع مباني إنتاجية وخدمية.

تبلغ الطاقة الإنتاجية للمصنع (15.000) طن في السنة أي ما يعادل (27) مليون متر مربع من (الكرتون) المسطح على أساس وريدية واحدة في اليوم وقد تم إضافة وريدية ثانية لزيادة القدرة الإنتاجية.

ويهدف هذا المشروع لتغطية احتياجات المصانع والشركات والمشاريع الزراعية والتشاريكات والأفراد بصناديق الكرتون لتغليف وتعبئة مختلف المنتجات المحلية.

ويقدر العدد الإجمالي للعاملين في المصنع بالورديتين 186 منتج، يوجد بالمصنع تسعة خطوط إنتاجية يمر المنتج بثلاث مراحل حتى ظهوره بالشكل النهائي؛ والمراحل هي:

1- مرحلة التقوية حيث يتم في هذه المرحلة تقويم الورق وذلك بلصق ثلاثة طبقات من الورق مع بعضها تكون الطبقة الوسطى بشكل متعرج وهي التي تجعل الورق ذو متانة وقوة عالية.

2- مرحلة التفصيل وهي المرحلة التي تلي مرحلة التقوية حيث يتم في هذه المرحلة إجراء عمليات شق (Slit) للورق بهدف الحصول على المقاسات المطلوبة ويتم عملية الشق باستخدام آلات شق خاصة بالورق وتتميز هذه الآلات بالدقة وإمكانية شق أي مقاس مطلوب.

يظهر الفاقد الناتج عن التوزيع (Layout) في هذه المرحلة حيث يتم استخلاصه وسحبه بواسطة الآلات خاصة يتم بعد ذلك تجميعه والتصرف فيه أيضاً يتم في نفس المرحلة قص المنتج وتفصيله ليكون جاهزاً للعملية التالية.

3- مرحلة اللصق والطباعة في هذه المرحلة يتم طباعة البيانات المطلوبة على الورق وبعدها يتم لصقه ليكون في شكله النهائي.

يعتمد المصنع في إنتاجه على الطلب الوارد من الشركات والمصانع والتشاريكات والأفراد ويختلف الطلب الوارد من شركة إلى أخرى أو من مصنع إلى آخر من حيث الكمية والنوع. يعتبر طلب المصنع الواحد أو الشركة الواحدة شبه ثابت من حيث النوع وتختلف الكمية المطلوبة من فترة إلى أخرى، وتعتبر هذه ميزة تستفيد منها إدارة الإنتاج في تخطيط عملياتها الإنتاجية حيث يتم تخزين كمية من الإنتاج الفائض لطلب معين (أي لا يمكن اعتباره فاقد) ويتم استخدامه عند وصول طلب آخر لنفس النوع ويرتب عن تخزين الفائض تكاليف تخزين ولكنها عموماً أقل من تكاليف اعتبار الفائض الفاقد.

وبخبرة إدارة الإنتاج نستطيع أن نتوقع أن المصانع والشركات تكون في حاجة إلى منتجات، وبالتالي تقوم إدارة الإنتاج بتصميم العمليات الإنتاجية للطلبات المتوقعة،

وبذلك يستمر الإنتاج ولا يتحمل المصنع تكاليف إضافية نتيجة لتوقف العمليات الإنتاجية.

يستخدم المصنع أربعة أبعاد قياسية للمواد الخام والتي هي عبارة عن لفائف ورقية وهذه الأبعاد هي (210 ، 220 ، 230 ، 240) ستيمر ويعتبر توفر هذه الأبعاد القياسية ميزة أخرى تستفيد منها إدارة الإنتاج في تقليل الفاقد عند التصميم لتوزيع المنتجات (Layout) على اللفائف حيث يتم استخدام البعد القياسي الأمثل أي الذي يحقق أقل كمية مفقودة.

دراسة تحليل طلب معين:

يختلف الطلب الوارد إلى المصنع ويتفاوت من يوم إلى آخر، لذلك سوف تختار عينة عشوائية لطلبية واردة في يوم 8-5-1994م وكانت الطلبية واردة من شركة الصابون ومواد التنظيف وتحتوي على ثلاثة أصناف كالتالي:

- الصنف الأول عدد الطلبية 52088 وحدة.

- الصنف الثاني عدد الطلبية 1245 وحدة.

- الصنف الثالث عدد الطلبية 28490 وحدة.

وكانت أبعاد الطلبيات محدودة لكل وحدة على النحو التالي:

| العرض (mm) | الطول (mm) | |
|------------|------------|--------------|
| 508 | 931 | الصنف الأول |
| 328 | 1017 | الصنف الثاني |
| 60 | 1397 | الصنف الثالث |

أما عرض اللفائف القياسية المتوفرة بالمصنع هي (210 ، 220 ، 230 ، 240) وجميع هذه اللفائف كانت بطول قياسي (260 متر) وبمعلومية الطول القياسي لللفائف والطول الإجمالي للوحدات يمكن تحديد عدد اللفائف المطلوبة من كل صنف.

1- الصنف الأول كانت الكمية (52088) وحدة وطول الوحدة (0.931) متر.

الطول الكلي المطلوب الأول = (0.931) (52088) = 48493.92 متر

عدد اللفائف المطلوبة من الصنف الأول = (48493.92) + (260) = 186.51 = 187

2- الصنف الثاني كانت الكمية (1245) وحدة وطول الوحدة (1.017) متر.

الطول الكلي للصنف الثاني = (1.017) (1245) = 1266.16 متر

عدد اللفائف المطلوبة من الصنف الثاني = (1266.16) + (260) = 4.86

3- الصنف الثالث كانت الكمية (28490) وحدة وطول الوحدة (1.397) متر.

الطول الكلي للصنف الثالث = (1.397) (28490) = 39798.3 متر

عدد اللفائف المطلوبة من الصنف الثالث = (3978.3) + (260) = 153

طريقة الحل للدراسة الحالة بالأسلوب التقليدي:

بعد أن تم تحديد المعالم الرئيسية للحالة بصورة واضحة يتم إيجاد الحل المناسب لها وفق الخطوات المتبعة. وبذلك يمكن صياغة الطلب كالآتي:

| الصنف | العرض (m) | عدد اللفائف |
|-------|--------------|-------------|
| 1 | 0.51 = 0.508 | 187 |
| 2 | 0.33 = 0.328 | 5 |
| 3 | 0.60 | 153 |

وبما أنه يوجد بالمصنع أربعة قياسات فإنه سوف يصاغ النموذج لكل بُعد قياسي على فرض أنه لا يوجد لدى الشركة إلا بُعد قياسي واحد، كذلك يمكن المفاضلة في اختيار البعد القياسي الأمثل لإنتاج الطلبية فيما لو توفرت الأبعاد القياسية الأربعة.

1- البعد القياسي الأول (عرض 2.100 متر) بطول (260 متر)

يتم أولاً تحديد عدد الطرق الممكنة للتقسيم وهي كالآتي:

وقد تم استخدام برنامج حاسب آلي لحساب عدد التقسيمات (Settings) المنطقية التي تحقق أقل كمية فاقد وهذا البرنامج موجود بالملحق (1) والجداول التالي يوضح تجميع البيانات للتقسيمات الممكنة.

| المقياس | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | العدد المطلوب |
|---------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|---------------|
| 33 | 3 | 1 | 0 | 3 | 6 | 1 | 4 | 1 | 2 | 4 | 0 | 5 |
| 60 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 153 |
| 51 | 1 | 1 | 4 | 2 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 187 |
| فاقد | 0 | 6 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 24 | 24 | 27 | 30 | |

ثم يتم بعد ذلك تحدد عدد التوليفات الممكنة لإنتاج الطلبية، إن عدد التوليفات الممكنة لإنتاج الطلبية كبير إذا أخذنا في الاعتبار الاحتمالات الممكنة لتكوين التوليفات، لذلك سيتم أخذ عينة من التوليفات وإجراء عملية المقارنة عليها، وهذه التوليفات كالتالي:

التوليفة الأولى:

يتم قطع 77 لفة بالطريقة الثانية وقطع 28 لفة بالطريقة الثالثة.

الفاقد نتيجة التوزيع $= (6 \times 77) + (28 \times 6) = 5.10$ متر

الفاقد من اللغات الفائضة $= (33 \times 72) + (60 \times 1) + (15 \times 2) = 25.38$ متر

$$\begin{aligned} \text{الفاقد الكلي} &= 5.10 + 25.38 = 30.48 \text{ متر} \\ &= (260 \times 30.48) = 7924.8 \text{ متر مربع} \end{aligned}$$

التوليفة الثانية:

يتم قطع 50 لفة بالطريقة الثانية وقطع 53 لفة بالطريقة السادسة وقطع 8 لفات بالطريقة الثالثة.

$$\begin{aligned} \text{الفاقد نتيجة التوزيع} &= (6 \times 8) + (15 \times 53) + (6 \times 50) = 11.13 \text{ متر} \\ \text{الفاقد نتيجة الفائض} &= (51 \times 1) + (33 \times 98) = 32.85 \text{ متر} \\ \text{الفاقد الكلي} &= 32.85 + 11.13 = 93.98 \text{ متر} \\ &= (260 \times 43.98) = 1434.8 \text{ متر مربع} \end{aligned}$$

التوليفة الثالثة:

$$\begin{aligned} \text{تم قطع 77 لفة بالطريقة الأولى وتم قطع 55 لفة بالطريقة الرابعة.} \\ \text{الفاقد نتيجة التوزيع} &= (6 \times 77) + (9 \times 55) = 9.66 \text{ متر} \\ \text{الفاقد نتيجة الفائض} &= (33 \times 237) + (60 \times 1) = 78.21 \text{ متر} \\ \text{الفاقد الكلي} &= 87.21 + 9.66 = 87.87 \text{ متر.} \\ &= (260 \times 87.87) = 22846.2 \text{ متر مربع.} \end{aligned}$$

تم اختيار التوليفة الأولى لإنتاج الطلبية بفرض توفر البعد (210) فقط.

2- البعد القياسي الثاني (بعرض 2.20 متر وطول 260 متر).

يتم تحديد عدد الطرق الممكنة للتقسيم بواسطة برنامج الحاسوب وهي (140) توزيع قد وجد 11 توزيع منطقي وهي التي تحمل أقل قيمة للفاقد وكانت كالتالي:

| العدد المطلوب | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | المقياس |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---------|
| 5 | 4 | 1 | 6 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 5 | 3 | 2 | 33 |
| 153 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 2 | 0 | 60 |
| 187 | 0 | 2 | 0 | 2 | 4 | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 3 | 51 |
| | 28 | 25 | 22 | 19 | 16 | 16 | 10 | 7 | 7 | 4 | 1 | 1 | فاقد |

بعد أن تم تحديد التوزيعات الأفضل نقوم بإجراء المفاضلة بين التوليفات لتوضيح المشكلة وهي كالتالي:

التوليفة الأولى:

تم قطع 30 لفة بطريقة التقسيم الرابعة وقطع 63 لفة بطريقة التقسيم الخامسة.

$$\text{الفاقد نتيجة التوزيع} = (7 \times 30) + (7 \times 63) = 6.51 \text{ متر}$$

$$\text{الفاقد نتيجة الفائض} = (33 \times 25) + (51 \times 2) = 9.27 \text{ متر}$$

$$\text{الفاقد الكلي} = (9.27 + 6.5) = 15.78 \text{ متر}$$

$$\text{الفاقد الكلي (m}^2\text{)} = (260 \times 15.78) = 4102.8 \text{ متر مربع}$$

التوليفة الثانية:

تم قطع 51 لفة بطريقة التقسيم الرابعة وقطع 63 لفة بطريقة التقسيم الأولى.

$$\text{الفاقد نتيجة التوزيع} = (63 \times 1) + (51 \times 7) = 4.20 \text{ متر}$$

$$\text{الفاقد نتيجة الفائض} = (33 \times 132) + (51 \times 2) = 60.54 \text{ متر}$$

$$\text{الفاقد الكلي} = 60.54 + 4.20 = 64.74 \text{ متر}$$

$$= (260 \times 64.74) = 16832.4 \text{ متر مربع}$$

التوليفة الثالثة:

تم قطع 50 لفة بالطريقة الرابعة و 60 لفة بالطريقة الخامسة، و 7 لفات بالطريقة السابعة.

$$\text{الفاقد نتيجة التوزيع} = (7 \times 50) + (60 \times 7) + (7 \times 16) = 8.82 \text{ متر}$$

$$\text{الفاقد الناتج عن اللغائف الزائدة} = (33 \times 52) + (64 \times 60) = 55.56 \text{ متر}$$

$$\text{الفاقد الكلي} = 55.56 + 8.82 = 64.38 \text{ متر مربع}$$

وبالمقارنة تم اختيار التوليفة الأولى في حالة توفر البعد القياسي 2.20 متر.

3- البعد القياسي الثالث (يعرض 2.30 متر وطول 260 متر):

باستخدام برنامج الحاسوب وجد أن عدد التوزيعات الممكنة هي (140) وبتحديد أفضل توزيعات وهي التي تحمل أقل كمية من الفاقد وكان بيانها كالتالي:

| العدد المطلوب | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | المقياس |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---------|
| 5 | 6 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 5 | 2 | 3 | 0 | 5 | 2 | 33 |
| 153 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 60 |
| 187 | 0 | 2 | 4 | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 2 | 0 | 2 | 51 |
| | 32 | 29 | 26 | 26 | 20 | 17 | 17 | 14 | 11 | 11 | 8 | 5 | 2 | فاقد |

وبطريقة طرق التقسيم السابقة يمكن تحديد عدد من التوليفات وكانت:

التوليفة الأولى:

هي عبارة عن قطع 77 لفة بالطريقة الثالث وقطع 33 لفة بالطريقة السادسة.

وبالتالي يكون الفاقد نتيجة التوزيع =

$$10.78 \text{ متر} = 6.16 + 4.6 = (8 \times 77) + (14 \times 33)$$

والفاقد نتيجة الفائض من اللفائف = $(60) + (160 \times 33) = 53.40$ متر

وبالتالي يكون الفاقد الكلي = $(53.40 \times 10.78) = 64.18$ متر

الفاقد الكلي (متر) = $260 \times 64.18 = 6686.8$ متر مربع

التوليفة الثانية:

ونمت بقطع 51 لفة بالطريقة السابعة وقطع 63 لفة بالطريقة الخامسة.

وكانت الفاقد نتيجة التوزيع = $(17 \times 51) + (11 \times 63) = 8.67$ متر

والفاقد نتيجة الفائض في عدد اللفائف = $(2 \times 51) + (174 \times 33) = 55.52$ متر

الفاقد الكلي = $8.67 + 55.52 = 64.19$ متر

الفاقد الكلي = $64.19 \times 260 = 16689.4$ متر مربع

التوليفة الثالثة:

ونمت بقطع 94 لفة بالطريقة الثالثة وقطع لفة واحدة بالطريقة الثانية.

وكان الفاقد نتيجة التوزيع = $(8 \times 94) + 5 = 7.57$ متر

الفاقد نتيجة الفائض في عدد اللفائف = $(36 \times 60) + (5 \times 33) = 23.25$ متر

الفاقد الكلي = $30.82 \times 260 = 8013.2$ متر مربع

التوليفة الرابعة:

ونمت بقطع 94 لفة بالطريقة الثالثة وقطع 5 لفائف بالطريقة السابعة.

وكان الفاقد نتيجة التوزيع = $(8 \times 94) + (17 \times 5) = 8.37$ متر

الفاقد نتيجة الفائض في عدد اللفائف = $(1 \times 51) + (50 \times 60) = 30.51$ متر

$$\text{الفاقد الكلي} = 30.51 + 8.37 = 38.88 \text{ متر}$$

$$\text{الفاقد الكلي} = 38.88 \times 260 = 10108.8 \text{ متر مربع}$$

وبالمقارنة بين الفاقد في التوليفات الرابعة نجد أن أفضل توليفة لإنتاج الطلبية باستخدام البعد القياسي (2300) متر هي التوليفة الثالثة التي تحقق أقل فاقد.

4- البعد القياسي الرابع (بعرض 2.400 متر وطول 260 متر):

باستخدام برنامج الحاسوب وجد أن عدد التوليفات الممكنة هي (270) وقد تم اختيار أفضل 7 توزيعات وهي التي تحمل أقل كمية من الفاقد وكان بينها كالتالي:

| العدد المطلوب | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | المقياس |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---------|
| 5 | 3 | 1 | 0 | 5 | 2 | 3 | 0 | 5 | 2 | 7 | 0 | 4 | 2 | 1 | 0 | 33 |
| 153 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 3 | 0 | 2 | 0 | 4 | 60 |
| 187 | 1 | 0 | 3 | 1 | 3 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 4 | 0 | 51 |
| | 30 | 27 | 27 | 24 | 21 | 21 | 18 | 15 | 12 | 9 | 9 | 6 | 3 | 3 | 0 | فاقد |

وباستخدام طرق التقسيم أو التوزيعات المختارة يمكن تحديد التوليفات الممكنة لإنتاج الطلبية وكانت كالتالي:

التوليفة الأولى:

تمت بقطع 39 لفة بالطريقة الأولى وقطع 47 لفة بالطريقة الثانية.

$$\text{كان الفاقد نتيجة التوزيع} = 3 \times 47 = 1.41$$

والفاقد نتيجة الفائض في عدد اللغائف =

$$15.17 \text{ متر} = (3 \times 60) + (1 \times 51) + (42 \times 33)$$

$$\text{وكان الفاقد الكلي} = 1.14 + 15.17 = 16.58 \text{ متر}$$

$$\therefore \text{الفاقد الكلي} = 260 \times 16.58 = 4310.8 \text{ متر مربع}$$

$$\text{الفاقد الكلي (متر)} = 260 \times 64.18 = 6686.8 \text{ متر مربع}$$

التوليفة الثانية:

وتمت بقطع 51 لفة بالطريقة الخامسة وقطع 34 لفة بالطريقة الثانية.

$$\text{وكان الفاقد نتيجة التوزيع} = (9 \times 51) + (34 \times 3) = 5.61 \text{ متر}$$

$$\text{وكان الفاقد نتيجة الفائض في عدد اللفائف} = 9.57$$

$$\text{الفاقد الكلي} = 5.61 + 9.57 = 15.18 \text{ متر}$$

$$\text{الفاقد الكلي} = 260 \times 15.18 = 3946.8 \text{ متر}$$

التوليفة الثالثة:

وتمت بقطع 20 لفة بالطريقة الخامسة وقطع 41 لفة بالطريقة الثانية وقطع 25 لفة بالطريقة

$$\text{وكان الفاقد نتيجة التوزيع} = (3 \times 41) + (25 \times 9) = 3.48 \text{ متر}$$

$$\text{الفاقد نتيجة الفائض في عدد اللفائف} = (2 \times 51) + (2 \times 60) + (36 \times 33) = 1410 \text{ متر}$$

$$\text{الفاقد الكلي} = 5.61 + 9.57 = 15.18 \text{ متر}$$

$$\text{الفاقد الكلي} = 260 \times 15.18 = 3946.8 \text{ متر}$$

بإجراء المقارنات بين الفاقد في التوليفات الثلاثة نجد أن التوليفة الثانية هي التي تحمل أقل فاقد وبالتالي تكون هي أفضل توليفة لإنتاج الطلبية.

إجراء الحل بطريقة البرمجة الخطية:

مد أن تم إيجاد الحل للمشكلة المدروسة بالطريقة التقليدية والتي تحتاج إلى زمن لإجراء خطوات الحل ولإجراء الحل بالصورة الرياضية تم استخدام طريقة (Big-M) بالاستعانة ببرنامج حاسب آلي موجود بملحق (2) وكان ذلك على النحو التالي:

صياغة نموذج رياضي لكل الحالة:

1- النموذج الأول باستخدام البعد القياسي (2.100) متر والجدول الآتي يوضح البيانات المتعلقة بالمشكلة

| العدد المطلوب | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | المقياس |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---------|
| 5 | 0 | 4 | 2 | 1 | 4 | 1 | 6 | 3 | 0 | 1 | 3 | 33 |
| 135 | 3 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 60 |
| 187 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 2 | 0 | 2 | 4 | 1 | 1 | 51 |
| | 30 | 27 | 24 | 24 | 18 | 14 | 12 | 9 | 6 | 6 | 0 | فاقد |

بعد ذلك يتم تحديد المعادلات والتي تمثل قيود النموذج الرياضي.

عدد اللقائف المنتجة $= 3x_1 + x_2 + 3x_4 + x_6 + x_8 + 2x_9 + x_8 + 2x_9 + 4x_{10}$
بعرض (33).

عدد اللقائف المنتجة بعرض (60) $= 1 + 2x_2 + x_6 + x_7 + 2x_9 + 3x_{10}$.

عدد اللقائف المنتجة بعرض (51) $= 1 + x_2 + 4x_3 + 2x_4 + 2x_6 + x_3 + x$.

يكون العدد الفائض من اللقائف عند الحد المطلوب

$$Y_1 = 1x_1 + x_2 + 3x_4 + 6x_5 + x_6 + 4x_7 + x_8 + 2x_9 + 4x_{10} = 5$$

$$Y_2 = 1 = 1x_2 + x_6 + x_7 + 2x_9 + 3x_{10} = 151$$

$$Y_3 = x_1 + x_2 + 4x_3 + 2x_6 + 3x_7 + x_9 + x_9 = 187$$

وبهذا تكون كمية الفاقد الكلي الناتج عن عملية التقسيم

$$L (6x_2 + 6x_3 + 94 + 12x_5 + 15x_6 + 18x_7 + 24x_8 + 24x_9 + 27x_{10} + 30x_{11})$$

حيث L طول اللفة القياسية ويمكن إهماله لأنه عامل مشترك. كذلك يتم إهمال الفاقد Y_1, Y_2, Y_3 وبهذا يمكن صيغة النموذج الرياضي على الصورة:

$$Z_{min} = 6 x_2 + 6 x_3 + 6 x_4 + 12 x_5 + 15 x_6 + 24 x_8 + 24 x_9 + 27 x_{10} + 30 x_{11}$$

Subject To:

$$3 x_1 - x_2 + 3 x_4 + 6 x_5 + x_6 + 4 x_7 + x_8 + 2 x_9 + 4 x_{10} = 5$$

$$x_1 + 2 x_2 + x_6 + x_7 + 2 x_9 + 3 x_{11} = 154$$

$$x_1 + x_2 + 4x_3 + 2 x_4 + 2 x_6 + 2 x_8 + x_{10} = 187$$

$$x_L \dots \dots \dots x_{11} \geq 0$$

ولإجراء الحل على النموذج لابد من وضعه على الصورة القياسية كالتالي:

$$Z_{min} = 6 x_2 + 6 x_3 + 9 x_4 + 12 x_5 + 15 x_6 + x_7 + 24 x_8 + 24 x_9 + 27 x_{10} + 30 x_{11} + MR1 \quad MR2 + MR3$$

Subject To:

$$3 x_1 + x_2 + 3 x_4 + 6 x_5 + x_6 + 4 x_7 + x_8 + 2 x_9 + 4 x_{10} + R1 = 5$$

$$x_1 + 2 x_2 + x_6 + x_7 + 2 x_9 + 3 x_{11} + R2 = 154$$

$$x_1 + x_2 + 4 x_3 + 2 x_4 + 2 x_6 + 3 x_8 + x_{10} + R3 = 187$$

$$x_1 x_2 \dots \dots \dots x_{11} \geq 0$$

$$R1, R2, R3 \geq 0$$

بعد وضع النموذج الرياضي على الصورة القياسية صار بالإمكان إجراء خطوات

الحل بالطريق المبسط (BIG - M) وذلك بإدخاله في برامج: Linear Programming

Analysis

$$\begin{aligned} Z_{\min} = & 5M x_1 + (4M-6) x_2 + (4M-6) x_3 + (9M-9) x_4 + (6M-12) x_5 + \\ & (4M-5) x_6 + (5M-18) x_7 + (4M-24) x_8 + (4M-24) x_9 + (5M-27) x_{10} \\ & + (3M-30) x_{11} \end{aligned}$$

Subject To:

$$3 x_1 + x_2 + 3 x_4 + 6 x_5 + x_6 + 4 x_7 + x_8 + 2 x_9 + 4 x_{10} + R1 = 5$$

$$x_1 + 2 x_2 + x_6 + x_7 + 2 x_9 + 3 x_{11} + R2 = 154$$

$$x_1 + x_2 + 4 x_3 + 2 x_4 + 2 x_6 + 3 x_8 + x_{10} + R3 = 187$$

$$x_1 x_2 \dots \dots \dots x_{11} \geq 0$$

$$R1, R2, R3 \geq 0$$

*
*
*
*
*
*

**LINEAR PROGRAMMING
ANALYSIS**

**** INFORMATION ENTERED ****

NUMBER OF CONSTRAINTS 3
NUMBER OF VARIABLES 11
NUMBER OF <= CONSTRAINTS 0
NUMBER FO = CONSTRAINTS 3
NUMBER OF >= CONSTRAINTS 0

ITERATION 0

X 12 = 5
X 13 = 154
X 14 = 187

| Basis | C(j) - Z(j) | R1 | R2 | R3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | 0.50E+13 | 3.000 | 1.000 | 1.000 |
| X 2 | 0.40E+13 | 1.000 | 2.000 | 1.000 |
| X 3 | 0.40E+13 | 0.000 | 0.000 | 4.000 |
| X 4 | 0.50E+13 | 3.000 | 0.000 | 2.000 |
| X 5 | 0.60E+13 | 6.000 | 0.000 | 0.000 |
| X 6 | 0.40E+13 | 1.000 | 1.000 | 2.000 |
| X 7 | 0.50E+13 | 4.000 | 1.000 | 0.000 |
| X 8 | 0.40E+13 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |
| X 9 | 0.40E+13 | 2.000 | 2.000 | 0.000 |
| X 10 | 0.50E+13 | 4.000 | 0.000 | 1.000 |
| X 11 | 0.30E+13 | 0.000 | 3.000 | 0.000 |
| R 1 | 0.00E+13 | 1.000 | 0.000 | 0.000 |
| R 2 | 0.00E+13 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| R 3 | 0.00E+13 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| SOLU | 0.33E+13 | 5.000 | 154.0 | 187.0 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 3.46E+14

ITERATION 1

BASIS

X 5 = .8333334

X 13 = 154

X 14 = 187

| Basis | C(j) - Z(j) | X5 | R2 | R3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | 0.20E+13 | 0.500 | 1.000 | 1.000 |
| X 2 | 0.30E+13 | 0.160 | 2.000 | 1.000 |
| X 3 | 0.40E+13 | 0.000 | 0.000 | 4.000 |
| X 4 | 0.20E+13 | 0.500 | 0.000 | 2.000 |
| X 5 | 0.00E+12 | 1.000 | 0.000 | 0.000 |
| X 6 | 0.30E+13 | 0.160 | 1.000 | 2.000 |
| X 7 | 0.10E+13 | 0.660 | 1.000 | 0.000 |
| X 8 | 0.30E+13 | 0.160 | 0.000 | 3.000 |
| X 9 | 0.20E+13 | 0.330 | 2.000 | 0.000 |
| X 10 | 0.10E+13 | 0.660 | 0.000 | 1.000 |
| X 11 | 0.30E+13 | 0.000 | 3.000 | 0.000 |
| R 1 | -.10E+13 | 0.160 | 0.000 | 0.000 |
| R 2 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| R 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| SOLU | 0.34E+15 | 0.830 | 154.0 | 187.0 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 3.41E+14

ITERATION 2

BASIS

X 3 = 46.75

X 5 = 0.8333334

X 14 = 154

| Basis | C(j) - Z(j) | X5 | R2 | X3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | 0.10E+13 | 0.500 | 1.000 | 0.250 |
| X 2 | 0.20E+13 | 0.160 | 2.000 | 0.250 |
| X 3 | 0.00E+13 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| X 4 | 0.00E+13 | 0.500 | 0.000 | 0.500 |
| X 5 | 0.00E+12 | 1.000 | 0.000 | 0.000 |
| X 6 | 0.10E+13 | 0.160 | 1.000 | 0.500 |
| X 7 | 0.10E+13 | 0.660 | 1.000 | 0.000 |
| X 8 | -.18E+13 | 0.160 | 0.000 | 0.750 |
| X 9 | 0.20E+13 | 0.330 | 2.000 | 0.000 |
| X 10 | -.18E+02 | 0.660 | 0.000 | 0.250 |
| X 11 | 0.30E+13 | 0.000 | 3.000 | 0.000 |
| R 1 | -.10E+13 | 0.160 | 0.000 | 0.000 |
| R 2 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| R 3 | -.10E+13 | 0.000 | 0.000 | 0.250 |
| SOLU | 0.15E+15 | 0.830 | 154.0 | 46.75 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 1.54E+14

ITERATION 3

BASIS

X 3 = 46.75

X 5 = .8333334

X 14 = 51.33334

| Basis | C(j) - Z(j) | X5 | R2 | R3 |
|-------|-------------|-------|-------|-----|
| X 1 | 0.18E+02 | 0.500 | 0.300 | 0.2 |
| X 2 | 0.18E+02 | 0.160 | 0.600 | 0.2 |
| X 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 1.0 |
| X 4 | 0.00E+00 | 0.500 | 0.000 | 0.5 |
| X 5 | 0.00E+12 | 1.000 | 0.000 | 0.0 |
| X 6 | 0.00E+00 | 0.160 | 0.330 | 0.5 |
| X 7 | 0.00E+00 | 0.660 | 0.330 | 0.0 |
| X 8 | -.18E+02 | 0.160 | 0.000 | 0.7 |
| X 9 | 0.00E+00 | 0.330 | 0.660 | 0.0 |
| X 10 | -.18E+02 | 0.660 | 0.000 | 0.2 |
| X 11 | 0.00E+13 | 0.000 | 1.000 | 0.0 |
| R 1 | -.10E+13 | 0.160 | 0.000 | 0.0 |
| R 2 | -.10E+13 | 0.000 | 0.330 | 0.0 |
| R 3 | -.00E+13 | 0.000 | 0.000 | 0.2 |
| SOLU | 0.18E+04 | 0.830 | 51.33 | 46 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 1830

ITERATION 4

BASIS

X 1 = 1.666667

X 3 = 46.33333

X 11 = 50.77778

| Basis | C(j) - Z(j) | X5 | R2 | X3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | 0.00E+12 | 0.500 | 1.000 | 0.250 |
| X 2 | 0.12E+02 | 0.160 | 2.000 | 0.250 |
| X 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| X 4 | -.15E+02 | 0.500 | 0.000 | 0.500 |
| X 5 | -.035E+02 | 1.000 | 0.000 | 0.000 |
| X 6 | -.58E+01 | 0.160 | 1.000 | 0.500 |
| X 7 | -.23E+02 | 0.660 | 1.000 | 0.000 |
| X 8 | -.23E+02 | 0.160 | 0.000 | 0.750 |
| X 9 | -.12E+02 | 0.330 | 2.000 | 0.000 |
| X 10 | -.41E+02 | 0.660 | 0.000 | 0.250 |
| X 11 | 0.00E+12 | 0.000 | 3.000 | 0.000 |
| R 1 | -.10E+13 | 0.160 | 0.000 | 0.000 |
| R 2 | -.10E+13 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| R 3 | -.10E+13 | 0.000 | 0.000 | 0.250 |
| SOLU | 0.18E+04 | 0.830 | 154.0 | 46.75 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 1801.33

ITERATION 5

BASIS

$$X_2 = 5$$

$$X_3 = 45.5$$

$$X_{11} = 48$$

| Basis | C (j) - Z (J) | X5 | R2 | R3 |
|-------|---------------|-------|-------|------|
| X 1 | -.35E+02 | 3.000 | -1.67 | -.50 |
| X 2 | 0.00E+12 | 1.000 | 0.000 | 0.00 |
| X 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 1.00 |
| X 4 | -.53E+02 | 3.000 | -2.00 | -.25 |
| X 5 | -.11E+03 | 6.000 | -4.00 | -1.5 |
| X 6 | -.18E+02 | 1.000 | -3.00 | 0.25 |
| X 7 | -.70E+02 | 4.000 | -2.34 | -1.0 |
| X 8 | -.35E+02 | 1.000 | -.670 | 0.5 |
| X 9 | -.35E+02 | 2.000 | -.670 | -.50 |
| X 10 | -.88E+02 | 4.000 | -2.67 | -.70 |
| X 11 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 0.0 |
| R 1 | -.10E+13 | 1.000 | -.670 | -.2 |
| R 2 | -.10E+13 | 0.000 | .300 | 0.0 |
| R 3 | -.10E+13 | 0.000 | 0.000 | 0.2 |
| SOLU | 0.17E+04 | 5.000 | 48.00 | 45 |

THE VARIABLES WHICH FORM THE SOLUTION SPACE

$$X_2 = 5$$

$$X_3 = 45.5$$

$$X_{11} = 48$$

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 1743

$$\text{TOTAL SCRAP} = 260 \times 1743 = 4531$$

2- صياغة النموذج الرياضي باستخدام البعد القياسي (2.200) والجدول التالي يوضح المتغيرات المتعلقة بالمشكلة:

| العدد المطلوب | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | المقياس |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---------|
| 5 | 4 | 1 | 6 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 5 | 3 | 2 | 33 |
| 153 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 3 | 0 | 2 | 0 | 60 |
| 187 | 0 | 2 | 0 | 2 | 4 | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 3 | 51 |
| | 28 | 25 | 22 | 19 | 16 | 16 | 10 | 7 | 7 | 4 | 1 | 1 | فاقد |

وبذلك يكون النموذج الرياضي على الصورة:

$$Z_{\max} = (5M-1) x_1 + (5M-1) x_2 + (6M-4) x_3 + (4M-7) x_4 + (4M-7) x_5 + (5M-10) x_6 + (4M-16) x_7 + (4M-18) x_8 + (5M-19) x_9 + (6M-22) x_{10} + (4M-25) x_{11} + (5M-25) x_{12} + MR1 + MR2 + MR3$$

Subject To:

$$2x_1 + 3x_2 + 5x_3 + x_4 + 3x_6 + x_7 + 3x_9 + 6x_{10} + x_{11} + 9x_{12} + R1 = 5$$

$$2x_2 + 3x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_{11} + x_{12} + R2 = 154$$

$$3x_1 + x_3 + 3x_5 + x_6 + x_7 + 4x_8 + 2x_9 + 2x_{11} + R3 = 187$$

$$x_1, x_2, \dots, x_{12} \geq 0$$

$$R1, R2, R3 \geq 0$$

بعد أن تم وضع النموذج في الصورة القياسية يمكن البدء في إجراءات الحل:

المتغير الداخل x_{10} والمتغير الخارج R_1 .

Figure 1. The effect of the number of trials on the number of correct responses. The number of correct responses was significantly higher for the 10-trial condition than for the 5-trial condition. Error bars represent the standard error of the mean.

| | |
|--------------------------|----|
| NUMBER OF CONSTRAINTS | 3 |
| NUMBER OF VARIABLES | 12 |
| NUMBER OF <= CONSTRAINTS | 0 |
| NUMBER FO = CONSTRAINTS | 3 |
| NUMBER OF >= CONSTRAINTS | 0 |

X 12 = 5
X 13 = 154
X 14 = 187

| Basis | C(j) - Z(J) | R1 | R2 | R3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | 0.50E+13 | 2.000 | 0.000 | 3.000 |
| X 2 | 0.50E+13 | 3.000 | 2.000 | 0.000 |
| X 3 | 0.60E+13 | 5.000 | 0.000 | 1.000 |
| X 4 | 0.40E+13 | 1.000 | 3.000 | 0.000 |
| X 5 | 0.40E+13 | 0.000 | 1.000 | 3.000 |
| X 6 | 0.50E+13 | 3.000 | 1.000 | 1.000 |
| X 7 | 0.40E+13 | 1.000 | 2.000 | 1.000 |
| X 8 | 0.40E+13 | 0.000 | 0.000 | 4.000 |
| X 9 | 0.50E+13 | 3.000 | 0.000 | 2.000 |
| X 10 | 0.60E+13 | 6.000 | 0.000 | 0.000 |
| X 11 | 0.40E+13 | 1.000 | 1.000 | 2.000 |
| X 12 | 0.30E+13 | 0.000 | 3.000 | 0.000 |
| R 1 | 0.00E+12 | 1.000 | 0.000 | 0.000 |
| R 2 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| R 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| SOLU | 0.35E+13 | 5.000 | 154.0 | 187.0 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 3.46E+14

ITERATION 1

BASIS

X 3 = 1

X 14 = 154

X 15 = 186

| Basis | C(j) - Z(j) | R1 | R2 | R3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | 0.26E+13 | 0.400 | 0.000 | 2.000 |
| X 2 | 0.14E+13 | 0.660 | 2.000 | -.100 |
| X 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| X 4 | 0.28E+13 | 1.000 | 3.000 | -1.00 |
| X 5 | 0.40E+12 | 0.200 | 1.000 | 3.000 |
| X 6 | 0.14E+13 | 0.600 | 1.000 | 0.000 |
| X 7 | 0.28E+13 | 0.200 | 2.000 | 0.000 |
| X 8 | 0.40E+13 | 0.000 | 0.000 | 4.000 |
| X 9 | 0.14E+13 | 0.600 | 0.000 | 1.000 |
| X 10 | -.12E+13 | 0.200 | 0.000 | -1.00 |
| X 11 | 0.28E+13 | 0.200 | 0.000 | -.100 |
| X 12 | 0.30E+13 | 0.000 | 3.000 | 0.000 |
| R 1 | -.12E+13 | 0.200 | 0.000 | -.100 |
| R 2 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| R 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| SOLU | 0.34E+15 | 1.000 | 154.0 | 187.0 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 3.46E+14

ITERATION 2

BASIS

X 3 = 1

X 5 = 62

X 14 = 92

| Basis | C(j) - Z(j) | R1 | R2 | R3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | -.87E+13 | 0.400 | -.870 | 0.860 |
| X 2 | -.22E+13 | 0.600 | 2.200 | 0.000 |
| X 3 | 0.00E+13 | 1.000 | 0.000 | -.070 |
| X 4 | 0.31E+13 | 0.200 | 3.060 | 1.000 |
| X 5 | 0.00E+13 | 0.000 | 0.000 | 0.130 |
| X 6 | 0.87E+13 | 0.600 | 0.860 | 0.260 |
| X 7 | 0.17E+13 | 0.200 | 1.730 | 1.330 |
| X 8 | -.13E+13 | 0.000 | -1.34 | 1.330 |
| X 9 | -.47E+13 | 0.600 | -.470 | 0.460 |
| X 10 | 0.40E+13 | 1.200 | 0.400 | -.410 |
| X 11 | 0.40E+13 | 0.200 | 0.390 | 0.600 |
| X 12 | 0.30E+13 | 0.000 | 3.000 | 0.000 |
| R 1 | -.93E+13 | 0.200 | 0.060 | -.070 |
| R 2 | 0.00E+13 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| R 3 | -.13E+13 | 0.000 | -.340 | 0.330 |
| SOLU | 0.92E+14 | 1.000 | 92.66 | 62.00 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 9.2E+13

TERATION 3

BASIS

X 3 = 5

X 5 = 62.33333

X 14 = 76.66666

| Basis | C(j) - Z(J) | R1 | R2 | R3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | -.70E+13 | 2.000 | -7.00 | 1.000 |
| X 2 | -.70E+13 | 3.000 | -7.00 | 0.000 |
| X 3 | -.15E+13 | 5.000 | -15.3 | 0.300 |
| X 4 | 0.00E+13 | 1.000 | 0.000 | 0.000 |
| X 5 | 0.00E+13 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| X 6 | -.83E+13 | 3.000 | -8.34 | 0.300 |
| X 7 | -.13E+13 | 1.000 | -1.34 | 0.300 |
| X 8 | -.13E+13 | 0.000 | -1.34 | 1.300 |
| X 9 | -.97E+13 | 3.000 | -9.67 | 0.000 |
| X 10 | -.18E+13 | 6.000 | -18.0 | 0.000 |
| X 11 | -.27E+13 | 1.000 | -2.67 | 0.000 |
| X 12 | 0.30E+13 | 0.000 | 3.000 | 0.000 |
| R 1 | 0.40E+13 | 1.000 | -3.00 | 0.000 |
| R 2 | 0.00E+13 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| R 3 | -.13E+13 | 0.000 | -.340 | 0.000 |
| SOLU | 0.77E+14 | 5.000 | 76.66 | 62.00 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 7.67E+

2- صياغة النموذج الرياضي باستخدام البعد القياسي (2.300) والجدول التالي يوضح المتغيرات المتعلقة بالمشكلة:

| العدد المطلوب | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | المقياس |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---------|
| 5 | 6 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 5 | 2 | 3 | 0 | 5 | 2 | 33 |
| 153 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 60 |
| 187 | 0 | 2 | 4 | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 2 | 0 | 2 | 51 |
| | 32 | 29 | 26 | 26 | 20 | 17 | 17 | 14 | 11 | 11 | 8 | 5 | 2 | فاقد |

وبذلك يكون النموذج الرياضي على الصورة:

$$Z_{\max} = (5M-2) x_1 + (6M-5) x_2 + (4M-8) x_3 + (5M-11) x_4 + (5M-11) x_5 + (6M-14) x_6 + (4M-17) x_7 + (4M-17) x_8 + (5M-20) x_9 + (4M-26) x_{10} + (4M-26) x_{11} + (5M-29) x_{12} + (6M-32) x_{13} + MR1 + MR2 + MR3$$

Subject To:

$$2 x_1 + 5 x_2 + 3 x_4 + 2 x_5 + 5 x_6 + x_7 + 3 x_9 + x_{10} + 3 x_{11} + 6 x_{12} + R1 = 5$$

$$x_1 + x_2 + 2 x_3 + 2 x_4 + 3 x_7 + x_8 + 1 x_9 + 2 x_{10} + x_{13} + R2 = 154$$

$$2x_1 + 2 x_3 + 3 x_5 + x_6 + 3 x_8 + x_9 + x_{10} + 4 x_{11} + R3 = 187$$

$$x_1 x_2 \dots \dots \dots x_{13} \geq 0$$

$$R1, R2, R3 \geq 0$$

بعد صياغة النموذج في صورته القياسية يتم البدء في إجراء الحل بوضع النموذج في الجداول الخاصة بالطريقة.

 *
 * LINEAR PROGRAMMING *
 * ANALYSIS *
 *

** INFORMATION ENTERED **

NUMBER OF CONSTRAINTS 3
 NUMBER OF VARIABLES 13
 NUMBER OF <= CONSTRAINTS 0
 NUMBER OF = CONSTRAINTS 3
 NUMBER OF >= CONSTRAINTS 0

ITERATION 0

X 12 = 5

X 13 = 154

X 14 = 187

| Basis | C(j) - Z(J) | R5 | R2 | R3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | 0.50E+13 | 2.000 | 1.000 | 2.000 |
| X 2 | 0.60E+13 | 5.000 | 1.000 | 0.000 |
| X 3 | 0.40E+13 | 0.000 | 2.000 | 2.000 |
| X 4 | 0.50E+13 | 3.000 | 2.000 | 0.000 |
| X 5 | 0.50E+13 | 2.000 | 0.000 | 3.000 |
| X 6 | 0.60E+13 | 5.000 | 0.000 | 1.000 |
| X 7 | 0.40E+13 | 1.000 | 3.000 | 0.000 |
| X 8 | 0.40E+13 | 0.000 | 1.000 | 3.000 |
| X 9 | 0.50E+13 | 3.000 | 1.000 | 1.000 |
| X 10 | 0.40E+13 | 1.000 | 2.000 | 1.000 |
| X 11 | 0.40E+13 | 0.000 | 0.000 | 4.000 |
| X 12 | 0.50E+13 | 3.000 | 0.000 | 2.000 |
| X 13 | 0.60E+13 | 6.000 | 0.000 | 0.000 |
| R 1 | 0.00E+13 | 1.000 | 1.000 | 0.000 |
| R 2 | 0.00E+13 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| R 3 | 0.00E+13 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| SOLU | 0.35E+15 | 5.000 | 154.0 | 187.0 |

ITERATION I

BASIS

X 1 = 1

X 14 = 153

X 15 = 187

| Basis | C(j) - Z(J) | R1 | R2 | R3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | 0.26E+13 | 0.400 | 0.000 | 0.60 |
| X 2 | 0.00E+13 | 1.000 | 2.000 | 0.00 |
| X 3 | 0.40E+12 | 0.000 | 0.000 | 2.00 |
| X 4 | 0.14E+13 | 0.600 | 3.000 | 1.40 |
| X 5 | 0.26E+12 | 0.400 | 1.000 | -0.40 |
| X 6 | 0.00E+13 | 1.000 | 1.000 | -1.00 |
| X 7 | 0.28E+13 | 0.200 | 2.000 | 2.00 |
| X 8 | 0.40E+13 | 0.000 | 0.000 | 1.00 |
| X 9 | 0.14E+13 | 0.600 | 0.000 | 0.39 |
| X 10 | 0.28E+13 | 0.200 | 0.000 | 1.80 |
| X 11 | 0.40E+13 | 0.000 | 1.000 | 0.00 |
| X 12 | 0.14E+13 | 0.600 | 3.000 | -0.61 |
| X 13 | -.12E+13 | 1.200 | 3.000 | -1.21 |
| R 1 | -.12E+13 | 0.200 | 0.000 | -.20 |
| R 2 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 1.00 |
| R 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| SOLU | 0.34E+15 | 1.000 | 154.0 | 153.0 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 3.46E+14

ITERATION 2

BASIS

X 2 = 1

X 3 = 76.5

R 3 = 34

| Basis | C(j) - Z(J) | X5 | X2 | X3 |
|-------|-------------|-------|--------|--------|
| X 1 | 0.14E+13 | 0.400 | 0.300 | 1.400 |
| X 2 | 0.00 E+12 | 1.000 | 0.000 | 0.000 |
| X 3 | 0.00E+13 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| X 4 | -.14E+13 | 0.600 | 0.700 | -1.400 |
| X 5 | 0.34E+13 | 0.400 | -0.200 | 3.400 |
| X 6 | 0.20E+13 | 1.000 | -0.500 | 2.000 |
| X 7 | -.28E+13 | 0.200 | 1.400 | -2.800 |
| X 8 | 0.20E+13 | 0.000 | 0.500 | 2.000 |
| X 9 | 0.60E+12 | 0.600 | 0.190 | 0.600 |
| X 10 | -.80E+13 | 0.200 | 0.900 | -0.800 |
| X 11 | 0.40E+13 | 0.000 | 0.000 | 4.000 |
| X 12 | 0.26E+13 | 0.600 | -0.310 | 2.600 |
| X 13 | 0.12E+13 | 1.200 | 0.610 | 1.200 |
| R 1 | -.80E+12 | 0.000 | -0.100 | 0.200 |
| R 2 | -.20E+13 | 0.000 | 0.500 | -1.000 |
| R 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| SOLU | 0.92E+14 | 1.000 | 76.50 | 34.00 |

ITERATION 3

BASIS

X 2 = 5

R 3 = 76.5

R 11 = 8.5

| Basis | C(j) - Z(J) | X5 | X2 | X3 |
|-------|-------------|-------|--------|-------|
| X 1 | 0.12E+02 | 0.400 | 0.300 | 0.60 |
| X 2 | 0.00E+12 | 1.000 | 0.000 | 0.00 |
| X 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 2.00 |
| X 4 | -.12E+02 | 0.600 | 0.700 | 1.40 |
| X 5 | 0.12E+02 | 0.400 | -0.200 | -0.40 |
| X 6 | 0.00E+00 | 1.000 | -0.500 | -1.00 |
| X 7 | -.28E+02 | 0.200 | 1.400 | 2.00 |
| X 8 | 0.00E+00 | 0.000 | 0.500 | 1.00 |
| X 9 | -.12E+02 | 0.600 | 0.190 | 0.39 |
| X 10 | -.28E+02 | 0.200 | 0.900 | 1.80 |
| X 11 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| X 12 | -.12E+02 | 0.600 | -0.310 | -0.61 |
| X 13 | -.23E+02 | 1.200 | -0.610 | -1.21 |
| R 1 | -.10E+13 | 0.200 | -0.100 | -.20 |
| R 2 | -.10E+13 | 0.000 | 0.500 | 1.00 |
| R 3 | -.10E+13 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| SOLU | 0.84E+03 | 1.000 | 76.50 | 153.0 |

ITERATION 4

BASIS

X 2 = 2.5

X 3 = 76.75

X 11 = 7.625

| Basis | C(j) - Z(J) | X5 | X2 | X3 |
|-------|-------------|-------|--------|--------|
| X 1 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.300 | 0.000 |
| X 2 | -.29E+02 | 2.500 | -0.750 | -0.880 |
| X 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| X 4 | -.29E+02 | 1.500 | 0.240 | 0.880 |
| X 5 | 0.00E+00 | 1.000 | -0.500 | 0.500 |
| X 6 | 0.29E+02 | 2.500 | -1.250 | -0.380 |
| X 7 | -.29E+02 | 0.500 | 1.250 | -0.880 |
| X 8 | 0.00E+00 | 0.000 | 0.500 | 0.500 |
| X 9 | -.29E+02 | 1.500 | -0.380 | -0.380 |
| X 10 | -.29E+02 | 0.500 | -0.380 | -0.380 |
| X 11 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 1.000 |
| X 12 | -.29E+02 | 1.500 | 0.120 | 0.120 |
| X 13 | -.58E+02 | 3.000 | -0.750 | -0.75 |
| R 1 | -.10E+13 | 0.500 | -0.130 | -0.130 |
| R 2 | -.10E+13 | 0.000 | 0.250 | -0.250 |
| R 3 | -.10E+13 | 0.000 | 0.250 | 0.250 |
| SOLU | 0.81E+03 | 2.500 | 7.620 | 7.620 |

The variables which form the solution space:

X 1 = 2.5

X 3 = 75.75

X 11 = 7.625

Objective function value: 809.25

total scrap = $809 \times 260 = 2104.2104.05 \text{ m}^2$

4- صياغة النموذج الرياضي باستخدام البعد القياسي (2.400) والجدول التالي يوضح المتغيرات المتعلقة بالمشكلة:

| المقياس | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | العدد المطلوب |
|---------|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------------|
| 33 | 0 | 1 | 2 | 4 | 0 | 7 | 2 | 5 | 0 | 3 | 2 | 5 | 0 | 1 | 3 | 5 |
| 60 | 4 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 153 |
| 51 | 0 | 4 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 3 | 1 | 3 | 0 | 1 | 187 |
| فائد | 0 | 3 | 3 | 6 | 9 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 21 | 24 | 27 | 27 | 30 | |

وبذلك يمكن وضع النموذج القياسي على الصورة:

$$Z_{min} = 3x_2 + 3x_3 + 6x_4 + 9x_5 + 9x_6 + 12x_7 + 15x_8 + 18x_9 + 21x_{10} + 21x_{11} + 24x_{12} + 27x_{13} + 27x_{14} + 30x_{15} + MR1 + MR2 + MR2$$

Subject To:

$$x_1 - 2x_2 + 4x_4 + 7x_6 + 2x_7 + 2x_8 + 3x_{10} + 2x_{11} + 5x_{12} + x_{14} + 3x_{15} + R1 = 5$$

$$4x_1 + 2x_2 + 3x_5 + x_6 + x_7 + 2x_8 + 2x_9 + 2x_{10} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + R2 = 154$$

$$4x_2 + x_3 + 2x_4 + x_5 + 2x_7 + 2x_9 + 3x_{11} + x_{12} + 3x_{13} + x_{15} + R3 = 187$$

$$x_1, x_2, \dots, x_{15} \geq 0$$

$$R1, R2, R3 \geq 0$$

 *
 * LINEAR PROGRAMMING *
 * ANALYSIS *
 *

** INFORMATION ENTERED **

NUMBER OF CONSTRAINTS 3
 NUMBER OF VARIABLES 15
 NUMBER OF <= CONSTRAINTS 0
 NUMBER OF = CONSTRAINTS 3
 NUMBER OF >= CONSTRAINTS 0

ITERATION 0

X 12 = 5
 X 13 = 154
 X 14 = 187

| Basis | C(j) - Z(J) | R1 | R2 | R3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | 0.40E+13 | 0.000 | 4.000 | 0.000 |
| X 2 | 0.50E+13 | 1.000 | 0.000 | 4.000 |
| X 3 | 0.50E+13 | 2.000 | 2.000 | 1.000 |
| X 4 | 0.60E+13 | 4.000 | 0.000 | 2.000 |
| X 5 | 0.40E+13 | 0.000 | 3.000 | 1.000 |
| X 6 | 0.70E+13 | 7.000 | 0.000 | 0.000 |
| X 7 | 0.50E+13 | 2.000 | 1.000 | 2.000 |
| X 8 | 0.60E+13 | 5.000 | 1.000 | 0.000 |
| X 9 | 0.40E+13 | 0.000 | 2.000 | 2.000 |
| X 10 | 0.50E+13 | 3.000 | 2.000 | 0.000 |
| X 11 | 0.50E+13 | 2.000 | 0.000 | 3.000 |
| X 12 | 0.60E+13 | 5.000 | 0.000 | 1.000 |
| X 13 | 0.40E+13 | 0.000 | 1.000 | 3.000 |
| X 14 | 0.40E+13 | 1.000 | 3.000 | 0.000 |
| X 15 | 0.50E+13 | 3.000 | 1.000 | 1.000 |
| R 1 | 0.00E+12 | 1.000 | 0.000 | 0.000 |
| R 2 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| R 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| SOLU | 0.35E+15 | 5.000 | 154.0 | 187.0 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 3.46E+14

ITERATION 1

BASIS

X 6 = .7142858

X 17 = 154

X 18 = 187

| Basis | C(j) - Z(J) | X6 | R2 | R3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | 0.40E+13 | 0.000 | 4.000 | 0.60 |
| X 2 | 0.40E+13 | 0.140 | 0.000 | 0.00 |
| X 3 | 0.30E+13 | 0.280 | 2.000 | 2.00 |
| X 4 | 0.20E+13 | 0.570 | 0.000 | 1.40 |
| X 5 | 0.40E+12 | 0.000 | 3.000 | -0.40 |
| X 6 | 0.00E+12 | 1.000 | 0.000 | -1.00 |
| X 7 | 0.30E+13 | 0.280 | 1.000 | 2.00 |
| X 8 | 0.10E+13 | 0.710 | 1.000 | 1.00 |
| X 9 | 0.40E+13 | 0.000 | 2.000 | 0.39 |
| X 10 | 0.20E+13 | 0.420 | 2.000 | 1.80 |
| X 11 | 0.30E+13 | 0.280 | 0.000 | 0.00 |
| X 12 | 0.10E+13 | 0.710 | 0.000 | -0.61 |
| X 13 | 0.40E+13 | 0.000 | 1.000 | -1.21 |
| X 14 | 0.30E+13 | 0.140 | 3.000 | 0.00 |
| X 15 | 0.20E+13 | 0.420 | 1.000 | 0.00 |
| R 1 | -.10E+13 | 0.140 | 0.000 | -.20 |
| R 2 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 1.00 |
| R 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| SOLU | 0.34E+15 | 0.710 | 154 | 153 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 3.46E+14

ITERATION 2

BASIS

X 2 = 1

X 3 = 76.5

R 3 = 34

| Basis | C(j) - Z(J) | X5 | X2 | X3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| X 2 | 0.40E+12 | 0.140 | 0.000 | 4.000 |
| X 3 | 0.10E+13 | 0.280 | 0.500 | 1.000 |
| X 4 | 0.20E+13 | 0.570 | 0.000 | 2.000 |
| X 5 | 0.10E+13 | 0.000 | 0.570 | 1.000 |
| X 6 | 0.00E+12 | 1.000 | 0.000 | 0.000 |
| X 7 | 0.20E+13 | 0.280 | 0.250 | 2.000 |
| X 8 | -.86E+01 | 0.710 | 0.250 | 0.000 |
| X 9 | 0.20E+13 | 0.000 | 0.500 | 2.000 |
| X 10 | -.17E+02 | 0.420 | 0.500 | 0.000 |
| X 11 | 0.30E+13 | 0.280 | 0.000 | 3.000 |
| X 12 | 0.10E+13 | 0.710 | 0.010 | 1.000 |
| X 13 | 0.30E+13 | 0.000 | 0.250 | 3.000 |
| X 14 | -.26E+02 | 0.140 | 0.750 | 0.000 |
| X 15 | 0.10E+13 | 0.420 | 0.250 | 1.000 |
| R 1 | -.10E+13 | 0.140 | 0.000 | 0.000 |
| R 2 | -.10E+13 | 0.000 | 0.250 | 0.000 |
| R 3 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| SOLU | 0.19E+14 | 1.710 | 38.50 | 187.0 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 1.87E+14

TERATION 3

BASIS

X 1 = 38.5

X 2 = 5

X 18 = 167

| Basis | C(j) - Z(J) | X2 | X1 | R3 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|
| X 1 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| X 2 | 0.00E+12 | 1.000 | 0.000 | 4.000 |
| X 3 | -.70E+13 | 2.000 | 0.500 | 1.000 |
| X 4 | -.14E+14 | 4.000 | 0.000 | 2.000 |
| X 5 | 0.10E+13 | 0.000 | 0.570 | 1.000 |
| X 6 | -.28E+14 | 6.000 | 0.000 | 0.000 |
| X 7 | -.60E+13 | 2.000 | 0.250 | 2.000 |
| X 8 | -.20E+14 | 5.000 | 0.250 | 0.000 |
| X 9 | 0.20E+13 | 0.000 | 0.500 | 2.000 |
| X 10 | -.12E+14 | 3.000 | 0.500 | 0.000 |
| X 11 | 0.50E+13 | 2.000 | 0.000 | 3.000 |
| X 12 | 0.19E+14 | 5.000 | 0.000 | 1.000 |
| X 13 | -.30E+13 | 0.000 | 0.250 | 3.000 |
| X 14 | -.40E+14 | 1.000 | 0.750 | 0.000 |
| X 15 | -.11E+14 | 3.000 | 0.250 | 1.000 |
| R 1 | -.50E+13 | 1.000 | 0.000 | 0.000 |
| R 2 | -.10E+13 | 0.000 | 0.250 | 0.000 |
| R 3 | 0.00E+13 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| SOLU | 0.84E+03 | 5.000 | 38.50 | 187.0 |

OBJECTIVE FUNCTION VALUE: 1.78E+14

TERATION 4

BASIS

X 1 = 24.58333

X 2 = 5

X 13 = 55.66667

| Basis | C(j) - Z(J) | X5 | X2 | X3 |
|-------|-------------|-------|-------|--------|
| X 1 | 0.00E+12 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| X 2 | 0.00E+12 | 1.000 | 0.000 | 0.000 |
| X 3 | -.60E+02 | 2.000 | 1.080 | -2.34 |
| X 4 | -.12E+03 | 4.000 | 1.160 | -4.67 |
| X 5 | 0.00E+00 | 0.000 | 0.660 | 0.330 |
| X 6 | -.24E+03 | 6.000 | 2.330 | -9.34 |
| X 7 | -.60E+02 | 2.000 | 0.750 | -2.00 |
| X 8 | -.18E+03 | 5.000 | 1.910 | -6.670 |
| X 9 | 0.00E+00 | 0.000 | 0.330 | 0.660 |
| X 10 | -.12E+03 | 3.000 | 0.500 | -4.00 |
| X 11 | 0.60E+02 | 2.000 | 0.410 | -1.67 |
| X 12 | 0.18E+03 | 5.000 | 1.580 | -6.34 |
| X 13 | 0.00E+12 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| X 14 | -.60E+02 | 1.000 | 1.080 | -1.34 |
| X 15 | -.12E+03 | 3.000 | 1.160 | -3.670 |
| R 1 | -.10E+13 | 1.000 | 0.330 | -1.340 |
| R 2 | -.10E+13 | 0.000 | 0.250 | 0.000 |
| R 3 | 0.10E+13 | 0.000 | -.090 | 0.330 |
| SOLU | 0.15E+03 | 2.500 | 24.58 | 55.66 |

The variables which form the solution space:

X 1 = 24.58333

X 2 = 5

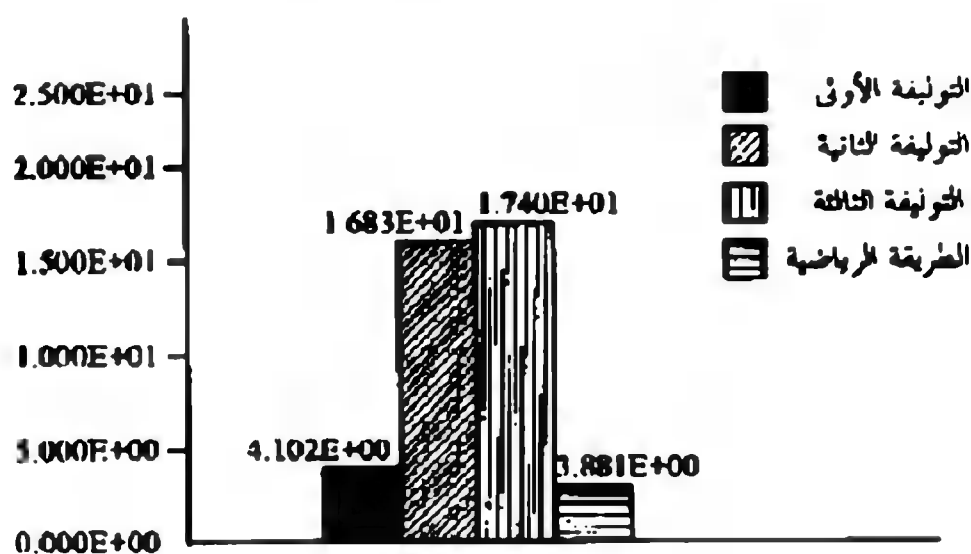
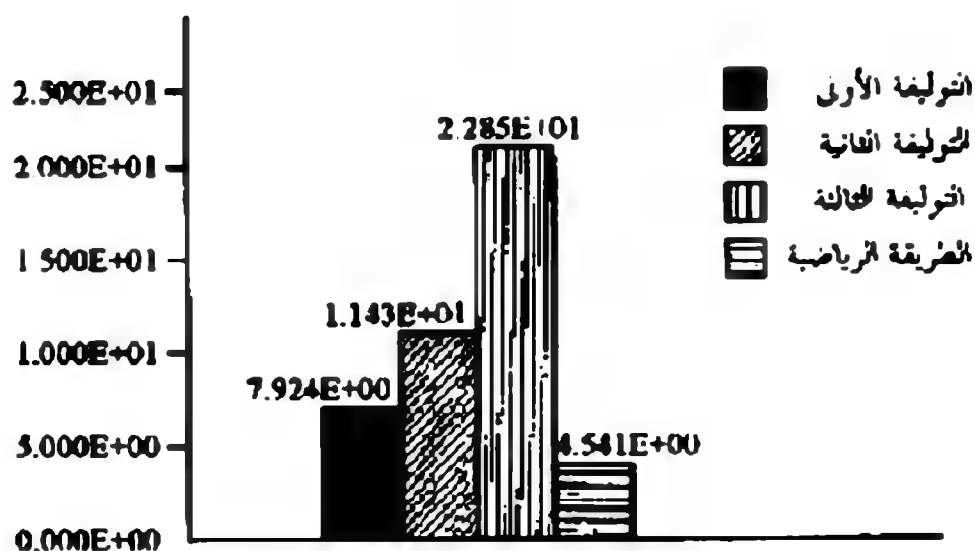
X 13 = 55.66667

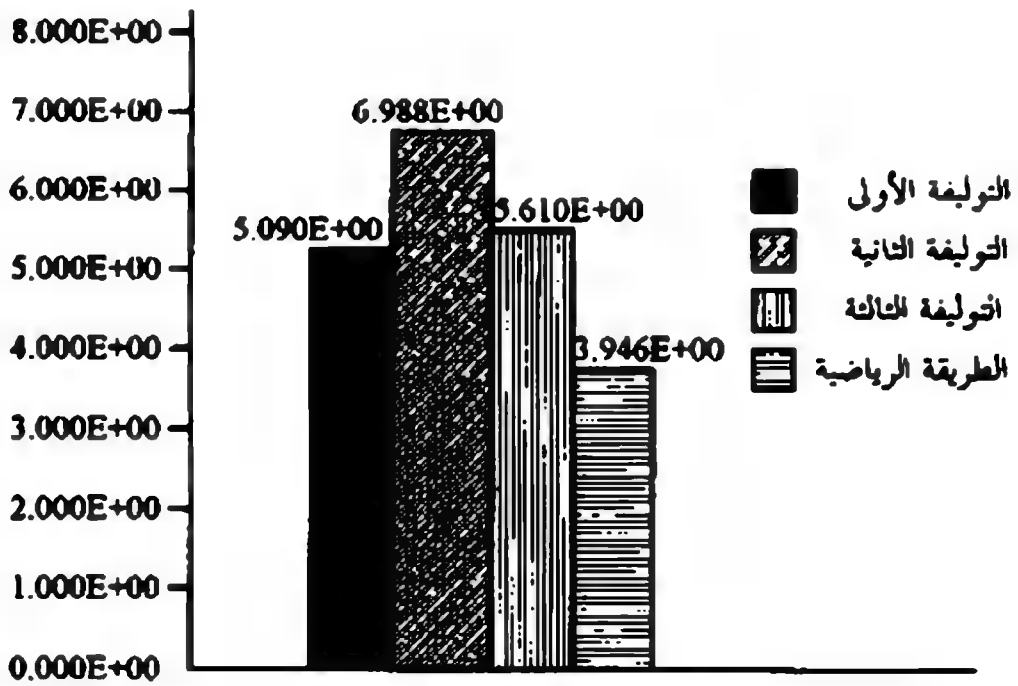
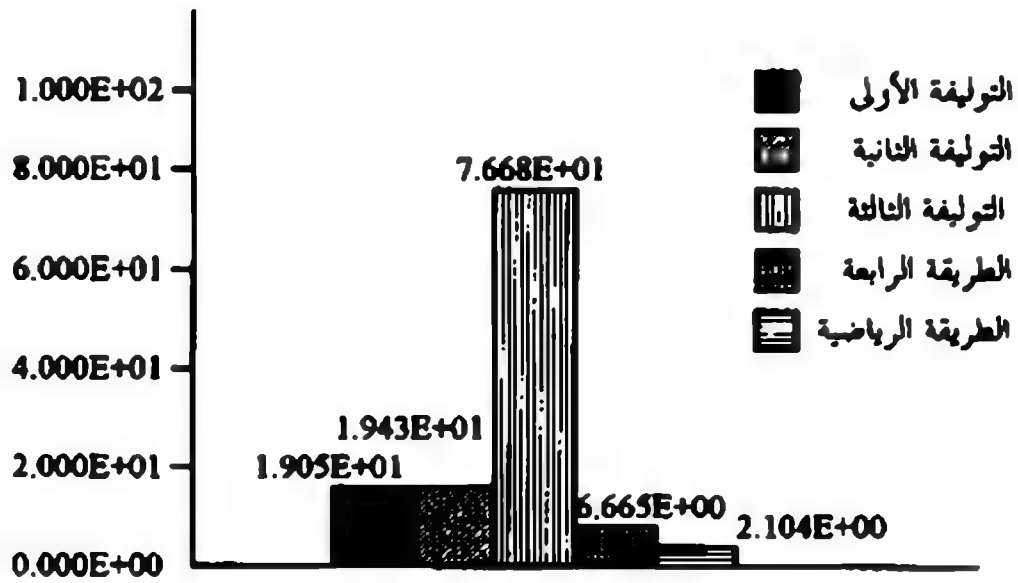
Objective function value: 1518

Total scrap = $15018 \times 260 = 3946.8 \text{ m}^2$

6.7 الخلاصة:

بعد إجراء الحسابات اللازمة لإيجاد قيمة الفاقد بالطريقتين التقليدية الرياضية وكما هو موضح بالأشكال. وجد أن استخدام أسلوب البرمجة الخطية في تقليل الفاقد يحقق أقل قيمة للفاقد يعطي نتائج في زمن أقل باستخدام الحاسب الآلي.





6.8 مسائل:

أوجد حل المسائل الآتية بواسطة طريقة السمبلكس

Max $z = 20 x_1 + 24 x_2$ -1

S.T.

$$2 x_1 + x_2 \leq 2$$

$$2 x_1 + 3 x_2 \leq 48$$

$$x_1 + x_2 \leq 20$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Max $z = 30 x_1 + 50 x_2$ -2

S.T.

$$2 x_1 + x_2 \leq 16$$

$$x_1 + 2 x_2 \leq 11$$

$$x_1 + 3 x_2 \leq 15$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Max $z = 10 x_1 + 20 x_2$ -3

S.T.

$$5 x_1 + 8 x_2 \leq 40$$

$$5 x_1 + 3 x_2 \leq 30$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Max $z = 6 x_1 + 8 x_2$ -4

S.T.

$$4 x_1 + x_2 \leq 20$$

$$x_1 + 4 x_2 \leq 40$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

$$\text{Max } z = -2x_1 + x_2 \quad -5$$

S.T.

$$x_1 + x_2 \leq 4$$

$$x_1 + x_2 \leq 6$$

$$x_1 \geq 0$$

$$-\infty < x_2 < +\infty$$

$$\text{Max } z = -x_1 - 2x_2 + x_3 \quad -6$$

S.T.

$$2x_1 + x_2 + x_3 \leq 6$$

$$2x_2 - x_3 \leq 3$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

$$\text{Max } z = 2x_1 - 12x_2 + 7x_3 \quad -7$$

S.T.

$$x_1 + 3x_2 + 2x_3 \leq 10.000$$

$$2x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 4000$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

$$\text{Max } z = 6x_1 + 8x_2 \quad -8$$

S.T.

$$x_1 - 3x_2 \geq -3$$

$$x_1 + 3x_2 \geq -6$$

$$2x_1 + x_2 \leq 8$$

$$4x_1 - x_2 \leq 16$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

$$\text{Max} \quad z = -3x_1 - 2x_2 \quad -9$$

S.T.

$$-x_1 + x_2 \leq 1$$

$$6x_1 + 4x_2 \leq 24$$

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 16$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

$$\text{Min} \quad z = 3x_1 - x_2 \quad -10$$

S.T.

$$x_1 + 2x_2 \geq 12$$

$$4x_1 + x_2 \leq 20$$

$$3x_1 + 6x_2 \geq 36$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

$$\text{Max} \quad z = 5x_1 + x_2 \quad -11$$

S.T.

$$x_1 + x_2 \leq 12$$

$$4x_1 + x_2 \leq 20$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

$$\text{Max} \quad z = 6x_1 + 8x_2 \quad -12$$

S.T.

$$x_1 + x_2 \leq 3$$

$$3x_1 + x_2 \leq 10$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

$$\text{Max } z = 4x_1 + 7x_2 + x_3 \quad -13$$

S.T.

$$x_1 + 2x_2 = 12$$

$$3x_1 + x_2 = 18$$

$$x_3 \geq 2$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

$$\text{Max } z = x_1 + 4x_2 + x_3 \quad -14$$

S.T.

$$2x_1 + x_2 + 3x_3 = 10$$

$$-3x_2 + x_3 = -4$$

$$x_1 + x_3 = 3$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

$$\text{Max } z = 4x_1 - 2x_2 + 6x_3 \quad -15$$

S.T.

$$2x_1 + x_2 + 3x_3 = 36$$

$$5x_1 - x_3 \leq 2$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

$$\text{Max } z = 5x_1 + 4x_2 + 2x_3 \quad -16$$

S.T.

$$2x_1 + x_2 + x_3 \leq 4$$

$$4x_1 + 4x_2 + 2x_3 \leq 12$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

$$\text{Max} \quad z = 4x_1 + 3x_2 + x_3 \quad -17$$

S.T.

$$2x_1 + 3x_2 + x_3 \geq 22$$

$$x_1 + 2x_2 + 3x_3 = 30$$

$$-x_1 + 5x_2 + 2x_3 = 42$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

$$\text{Max} \quad z = 4x_1 - 2x_2 + 6x_3 \quad -18$$

S.T.

$$2x_1 + x_2 + 3x_3 = 36$$

$$5x_1 - x_3 \leq 2$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

الفصل السابع

النموذج الثنائي مسائل البرمجة الخطية

يناقش هذا الفصل بالأمثلة التوضيحية تقنية النموذج الثنائي وكيفية استخدامها في تحويل البرمجة الخطية الأولى إلى النموذج الثنائي. ويتناول الفصل العلاقة بين النموذج الأولي والنموذج الثنائي، وأهمية هذه العلاقة، بالإضافة إلى مناقشة طرق حسابهما، وطريقة حل المسائل الثنائية بواسطة السمبلكس. كما يسلط الفصل الضوء على تحليل أحسنية من خلال الأمثلة والتمارين التطبيقية.

النموذج الثنائي لمسائل البرمجة الخطية Duality in Linear Programming

7.1 مقدمة:

من الظواهر المهمة المصاحبة لمسائل البرمجة الخطية الثنائية (Duality) والتي تعرف بتحويل نموذج البرمجة الخطية الأولى إلى النموذج الثنائية. ويختص النموذج الثنائي بسهولة حله عند حصول أي تغير في معاملات وإتاحة المتغيرات في النموذج الأولي بعد صياغته وحله، وتستخدم هذه الخاصية في تسهيل ظاهرة الحساسية لنموذج البرمجة الخطية (Sensitivity Analysis).

ويُعرف النموذج الثنائي أيضاً بأنه النموذج المماثل للنموذج الأولي لصياغة مسائل البرمجة الخطية. ويرمز النموذج الثنائي الكثير من المعلومات التي يمكن أن تفيد إدارة العمليات الصناعية في سهولة اتخاذ القرارات، بالإضافة إلى تقليل العمليات الحسابية التي أصبحت سهلة بواسطة الحاسوب وتحتاج إلى وقت أقل في حالة توفر عدد كبير من القيود والمتغيرات عنها في النموذج الأول.

فمثلاً النموذج الأول يمكن أن يعرف على النحو الآتي:

$$\left[\begin{array}{c} \text{MAXIMIZE} \\ \text{أو} \\ \text{MINIMIZE} \end{array} \right] \quad Z = \sum_{j=1}^n C_j x_j$$

$$\sum_{j=1}^n a_{lj} x_j = b_l \quad L = 1, 2, \dots, m$$

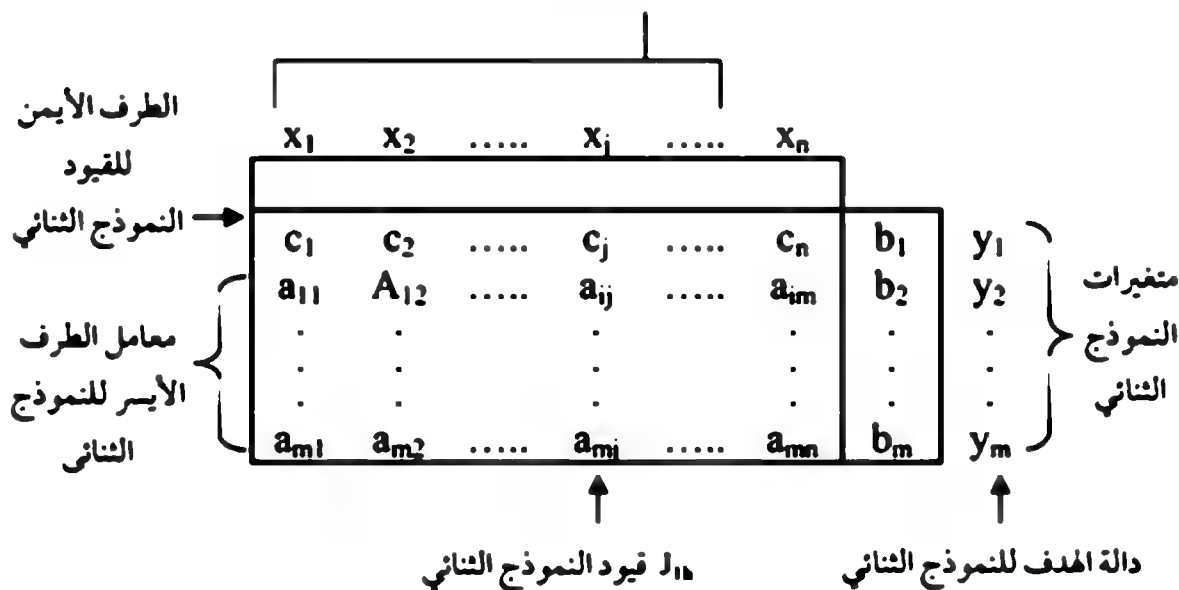
$$x_j \geq 0 \quad J = 1, 2, \dots, n$$

مع ملاحظة أن x_j تحتوي على المتغير الفائض والمتغير الصناعي.

ولتوضيح النموذج الثاني بالنظر إلى الجدول (6.1)

جدول (6-1)

متغيرات النموذج الأول



والقاعدة تعني أن النموذج الثاني له متغيرات m (y_1, y_2, \dots, y_m) وله قيود n مقابلة (x_1, x_2, \dots, x_n).

والجدول رقم (2-6) يوضح الانتظام في التعبير النموذج الأول والنموذج الثاني.

جدول (6-2)

| النموذج الثاني | | | دالة الهدف |
|----------------|--------|------------|----------------|
| المتغيرات | القيود | دالة الهدف | للمنموذج الأول |
| غير محددة | \geq | تصغير | تعظيم (MAX) |
| غير محددة | \leq | تعظيم | تصغير (MIN) |

والأمثلة التالية توضح فكرة تغيير النموذج الأول إلى النموذج الثاني:

مثال 7.1:

النموذج الأول:

$$\text{Max } z = 5 x_1 + 12 x_2 + 4 x_3$$

S.T.

$$x_1 + 2 x_2 + x_3 \leq 10$$

$$2 x_1 = x_2 + 3 x_3 = 8$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

بإضافة المتغير الفائض والمتغير الصناعي:

$$\text{Max } z = 5 x_1 + 12 x_2 + 4 x_3 + 0 x_4$$

S.T.

$$x_1 + 2 x_2 + x_3 + x_4 = 10$$

$$2 x_1 = x_2 + 3 x_3 + 0 x_4 = 8$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$$

∴ النموذج الثاني: (Dual)

$$\text{Min } w = 10 y_1 + 8 y_2$$

S.T.

$$x_1 : y_1 + 2 y_2 \geq 5$$

$$x_2 : 2 y_1 - y_2 \geq 12$$

$$x_3 : y_1 + 3 y_2 \geq 4$$

$$x_4 : y_1 + 0 y_2 \geq 0$$

y_1, y_2 غير محددة.

مثال 7.2:

$$\begin{array}{ll}\text{Max} & z = 5 x_1 - 2 x_2 \\ \text{S.T.} & -x_1 + x_2 \geq -3 \\ & 2 x_1 + 3 x_2 \leq 5 \\ & x_1, x_2 \geq 0\end{array}$$

بإضافة المتغير الفائض والمتغير الصناعي:

$$\begin{array}{ll}\text{Min} & z = 5 x_1 - 2 x_2 \\ \text{S.T.} & x_1 - x_2 + x_3 = 3 \\ & 2 x_1 + 3 x_2 + x_4 = 5 \\ & x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0\end{array}$$

النموذج الثاني:

$$\begin{array}{ll}\text{Max} & w = 3 y_1 + 5 y_2 \\ \text{S.T.} & y_1 + 2 y_2 \leq 5 \\ & -y_1 + 3 y_2 \leq -2 \\ & y_1 \leq 0 \\ & y_2 \leq 0\end{array}$$

غير محدد الإشارة y_1, y_2 .

مثال 7.3:

$$\begin{array}{ll}\text{Min} & z = 2 x_1 + 3 x_2 + x_3 \\ \text{S.T.} & x_1 + x_2 + x_3 \leq 40 \\ & 2 x_1 - x_2 + x_3 \geq 17 \\ & x_1, x_2, x_3\end{array}$$

ويمكن إعادة كتابة المسألة على النحو التالي:

$$\text{Min } z = 2x_1 + 3x_2 + x_3$$

S.T.

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq -40$$

$$2x_1 - x_2 + x_3 \geq 17$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

أما النموذج الثاني:

$$\text{Max } w = -40y_1 + 17y_2$$

S.T.

$$-y_1 + 2y_2 \leq 2$$

$$-y_1 - y_2 \leq 3$$

$$-y_1 + y_2 \leq 1$$

$$y_1, y_2 \leq 0$$

7.2 العلاقة بين النموذج الأولي والنموذج الثاني:

- 1- إن تحويل النموذج الثاني إلى نموذج ثنائي يتحول إلى نموذج أول.
- 2- المصفوفة A ($m \times n$) للنموذج الأول تعطي المصفوفة ($n \times m$) للنموذج الثاني.
- 3- لكل قيود النموذج الأولي توجد علاقة لمتغيرات النموذج الثاني والعكس صحيح.
- 4- لكل متغير في النموذج الأول، توجد علاقة له بقيود النموذج الثاني والعكس صحيح.
- 5- لكل حل ابتدائي للنموذج الأول.

أ- $z \leq Z$

ب- $z^* = Z^*$

ج- إذا كان $x_0 = w_0 b$ ومنها C

$$x_0 = x^* \quad w_0 = w^*$$

6- إذا كان النموذج الأول يوجد له حل أمثل فإن النموذج الثاني له حل أمثل.

7- إذا كان النموذج الأول له حل غير محدود فإن النموذج الثاني لا يوجد له حل والعكس صحيح.

ويمكن شرح العلاقة بين النموذج الأول (Primal problem) والنموذج الثاني (Dual problem) بواسطة العلاقة الرياضية التالية:

النموذج الثاني

$$\text{Min } z = 10 y_1 + 8 y_2$$

S.T.

$$y_1 + 2 y_2 \geq 5$$

$$2 y_1 - y_2 \geq 12$$

$$y_1 - 3 y_2 \geq 4$$

$$y_1 \geq 0 \quad -\infty < y_2 < \infty$$

النموذج الأول

$$\text{Max } z = 5 x_1 + 12 x_2 + 4 x_3$$

S.T.

$$x_1 + 2 x_2 + x_3 \leq 10$$

$$2 x_1 - x_2 + 3 x_3 = 8$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

وبحل المسألتين كل على حدة بواسطة طريقة السمبلكس تلاحظ الحل في الجداول (6.3) و (6.4).

المعلومات التالية يمكن استنتاجها.

[الحل الأمثل لـ معادلة z للمسألة الأولى] = [الفرق ما بين الشمال واليمين لقيود
المسألة الثانية المصاحبة للمتغيرات].

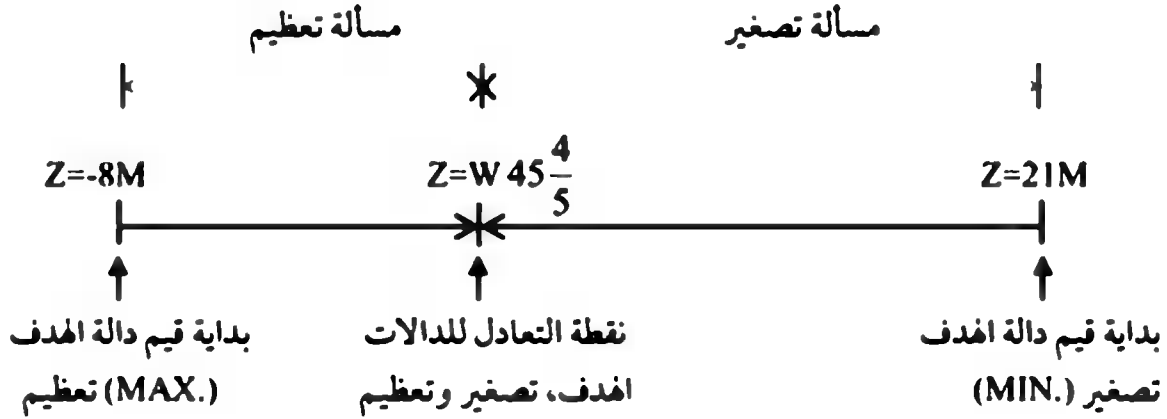
جدول (6-3)

| المحاولة | أساس | x_1 | x_2 | x_3 | z | R | الحل |
|--------------|-------|---------|---------|---------|--------|--------------------|-----------------|
| 0 (starting) | z | $-5-2M$ | $-12+M$ | $-4-3M$ | 0 | 0 | $-8M$ |
| x_3 enters | x_4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| R leaves | R | 2 | -1 | 3 | 0 | 1 | 8 |
| 1 | z | $-7/3$ | $-40/3$ | 0 | 0 | $\frac{4}{3} + M$ | $32/3$ |
| x_2 enters | x_4 | $1/3$ | $7/3$ | 0 | 1 | $-1/3$ | $22/3$ |
| x_4 leaves | R | $2/3$ | $-1/3$ | 1 | 0 | $1/3$ | $8/3$ |
| 2 | z | $-3/7$ | 0 | 0 | $40/7$ | $-\frac{4}{3} + M$ | $368/7$ |
| x_1 enters | x_2 | $1/7$ | 1 | 0 | $3/7$ | $-1/7$ | $22/7$ |
| x_3 leaves | x_3 | $5/7$ | 0 | 1 | $1/7$ | $2/7$ | $26/7$ |
| 3 | z | 0 | 0 | $3/5$ | $29/5$ | $-\frac{2}{5} + M$ | $54\frac{4}{5}$ |
| (optimal) | x_2 | 0 | 1 | $-1/5$ | $2/5$ | $-1/5$ | $12/5$ |
| | x_1 | 1 | 0 | $7/5$ | $1/5$ | $2/5$ | $26/5$ |

جدول (6-4)

| Iteration | Basic | y_1 | y'_1 | y''_1 | y_3 | y_4 | y_5 | R_1 | R_2 | R_3 | Solution |
|-----------------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|-------|----------|----------|-------|-----------------|
| 0 (starting) | W | $-10+4M$ | $-8+4M$ | $8+4M$ | $-M$ | $-M$ | $-M$ | 0 | 0 | 0 | $21M$ |
| | R_1 | 1 | 2 | -2 | -1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| | R_2 | 2 | -1 | 1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 12 |
| | R_3 | 1 | 3 | -3 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| 4 (optimal) | W | 0 | 0 | 0 | $-26/5$ | $-12/5$ | 0 | $26/5-M$ | $12/5-M$ | $-M$ | $54\frac{4}{5}$ |
| | y_3 | 0 | 0 | 0 | $-7/5$ | $1/5$ | 1 | $7/5$ | $-1/5$ | -1 | $3/5$ |
| | y''_1 | 0 | -1 | 1 | $2/5$ | $-1/5$ | 0 | $-2/5$ | $-1/5$ | -1 | $2/5$ |
| | y_1 | 1 | 0 | 0 | $-1/5$ | $-2/5$ | 0 | $1/5$ | $2/5$ | 0 | $29/5$ |

وباقى المعلومات التي يمكن تحديدها في الشكل 6.1.



وهذه النتائج يمكن تعميمها لزوج المسألة الأولى والثانية.

1- لكل من الحل الابتدائي للمسألة الأولى والثانية

$$\begin{pmatrix} \text{دالة الهدف لمسألة} \\ \text{تصغير} \end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix} \text{دالة الهدف لمسألة} \\ \text{تعظيم} \end{pmatrix}$$

2- الحل الأمثل للمسألة الأولى والثانية

$$(\text{دالة الهدف لمسألة تعظيم}) = (\text{دالة الهدف لمسألة تصغير})$$

7.3 أهمية العلاقة ما بين النموذج الأولي والنموذج الثنائي وحساباتها:

لفرض دراسة عملية تحليل الحساسية (Sensitivity analysis) يأتي اهتمامنا بالنتيجة التي يمكن تغييرها بواسطة تغيير المعاملات والتي يمكن تؤثر على مسار الحل المحقق سواء كان الحل الابتدائي أو الحل الأمثل المعهود. ونلاحظ عند تغيير الطرق الأيمن أو معاملات المتغيرات سوف نحتاج إلى إعادة حساب المسألة من جديد للتأكد من وجود حل ابتدائي أو حل أمثل للمسألة من خلال المعلومات المتوفرة بجداول

السيمبلكس. ويمكن تحقيق وجود حل سريع بدون إعادة حل المسألة من جديد بواسطة العلاقة ما بين النموذج الخطي الابتدائي الثاني. ويمكن تطوير طريقة حسابية تسمى بالسيمبلكس الثاني (Dual simplex).

وقبل شرح هذه الطريقة يستوجب النظر على بعض التعريفات الجبرية المهمة.

تعريف:

تعرف المصفوفة $(m \times n)$ بأنها مصفوفة مستطيلة ولها صفوف m وأعمدة n ، وحجم صفوف n $(1 \times n)$ وحجم الأعمدة (m) هي $(m \times 1)$ وأن المصفوفة $(m \times n)$ تحتوي على m صفوف و n أعمدة وعلى سبيل المثال:

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 2 \\ 4 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

هي مصفوفة ذات حجم (3×2) لها عمودين هما $\begin{pmatrix} 2 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}$ و $\begin{pmatrix} 3 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix}$

وكل عمود له ثلاثة صفوف على النحو الآتي:

$$(0, 1) \quad (4, -1) \quad (3, 2)$$

طريقة ضرب المصفوفات:

لو فرضنا مصفوفة الصف V

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_m)$$

والمصفوفة المستطيلة A

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

فإن:

$$V.A = (v_1, v_2, \dots, v_m) \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

$$= \sum_{i=1}^m v_i a_{i1} \sum_{i=1}^m v_i a_{i2} \dots \sum_{i=1}^m v_i a_{in}$$

ولو مثلنا هذه الأرقام فإن:

$$= (11, 22, 33) \begin{bmatrix} 3 & -1 \\ 4 & 8 \\ 6 & 9 \end{bmatrix}$$

$$= (3 \times 11 + 4 \times 22 + 6 \times 33, -1 \times 11 + 8 \times 22 + 9 \times 33)$$

$$= (319, 462)$$

أما مضروب مصفوفة $A \times P$ حيث

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ M \\ P_3 \end{bmatrix}$$

$$A \times P = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & K & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & K & a_{2n} \\ M & & K & \\ a_{m1} & a_{m2} & K & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ M \\ P_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^n a_{1j} p_j \\ \sum_{j=1}^n a_{2j} p_j \\ M \\ \sum_{j=1}^n a_{mj} p_j \end{bmatrix}$$

ولو مثلنا هذه القاعدة بالأرقام فإن:

$$= \begin{bmatrix} 1 & 5 & 7 \\ 2 & 0 & 8 \\ 3 & 6 & 9 \\ -1 & 4 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 11 \\ 22 \\ 33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 11 \times 1 + 22 \times 5 + 33 \times 7 \\ 11 \times 2 + 22 \times 0 + 33 \times 8 \\ 11 \times 3 + 22 \times 6 + 33 \times 9 \\ 11 \times -1 + 22 \times 4 + 33 \times -2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} & 352 \\ & 386 \\ & = 462 \\ & 11 \end{aligned}$$

7.4 طرق حساب النموذج الأولي والثاني:

يمكن شرح طريقة حساب النموذج الأولي، الثاني باستخدام أزواج من مسائل النموذج الأول والثاني والتي يعطي طريقة حلها بالسبيلكس في الجداول (7.1)، (7.2) حيث:

النموذج الأولي:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & z = 5x_1 + 12x_2 + 4x_3 - MR \\ \text{S.T.} \quad & (y_1)x_1 + 2x_2 + x_3 + 4x_3 = 10 \\ & (y_2)2x_1 - x_2 + 3x_3 + R = 8 \\ & x_1, x_2, x_3, R \geq 0 \end{aligned}$$

النموذج الثاني (Dual):

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & z = 10y_1 + 8y_2 \\ \text{S.T.} \quad & y_1 + 2y_2 \geq 5 \quad (x_1) \\ & 2y_2 - y_2 \geq 5 \quad (x_2) \\ & y_1 + 3y_2 \geq 4 \quad (x_3) \\ & y_1 + 2y_2 \geq 5 \quad (x_1) \\ & y_1 \geq 0 \quad (x_1) \\ & y_2 \geq -M \quad (R) \end{aligned}$$

y_2 غير محدودة الإشارة (Unrestricted)

7.4.1 طرق حساب قيود الأصعدة:

عند أي محاولة لإحدى محاولات طريقة السمبلكس (أولي، أو ثنائي) فإن عناصر العمود الشمالية أو اليمنى لأي قيد من مصفوفات الجدول ويمكن حسابها على النحو الآتي:

$$\begin{pmatrix} \text{العمود في محاولة} \\ i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{معكوس المحاولة} \\ i \end{pmatrix} \times (\text{العمود الأصلي})$$

ولتوضيح هذه المعادلة باعتبار المسألة الأولية أعلاه فإن بداية الحل الأساسي لـ x_3 ، R في الجدول (7.1)، فإن المصفوفة المعكوسة في كل محاولة (Iteration)، فلو اعتبرنا المحاولة رقم (1) وقيد x_1 .

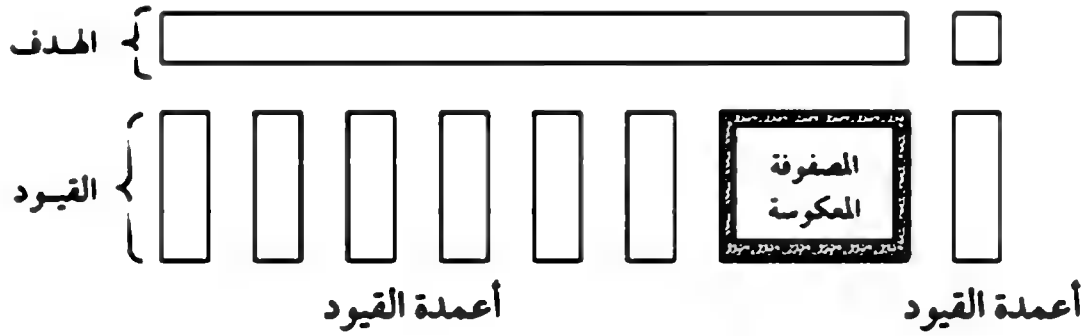
$$\begin{pmatrix} \text{العمود } x_1 \\ \text{الأصلي} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \text{معكوس} \\ \text{المحاولة الأولى} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{العمود } x_1 \\ \text{في الأصلي} \end{pmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{2}{3} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{3} \\ 0 & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$$

في محاولة رقم (2)

$$\begin{pmatrix} \frac{3}{1} & -\frac{1}{7} \\ \frac{1}{7} & \frac{2}{7} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 10 \\ 8 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{22}{7} \\ \frac{26}{7} \end{bmatrix}$$

لتوضيح الطريقة بالرسم كما هو في الشكل (7.2).



شكل (7-2)

7.4.2 طريقة حساب صف دالة الهدف:

عند أي محاولة أثناء إجراء عملية السمبلكس للمسألة الأولية، فإن عناصر معادلة دالة الهدف لكل متغير x_i يمكن حسابها بالطريقة التالية:

(الجانب الأيمن من القيد الثاني المقابل) - (الجانب الأيسر من القيد الثاني المقابل) = (عنصر $x_1 \times$ معادلة الهدف).

وبتطبيق هذه المعادلة على النموذجين الأول والثاني السابقين سنحصل على المعادلات الآتية:

بتطبيق المعادلة أعلاه فإن:

$$\text{معامل } z \text{ لـ } 5 - 2y_2 + y_1 = x_1$$

$$\text{معامل } z \text{ لـ } 12 - 2y_2 + 2y_1 = x_2$$

$$\text{معامل } z \text{ لـ } 4 - 3y_2 + y_1 = x_3$$

$$\text{معامل } z \text{ لـ } 0 - y_1 = x_4$$

$$\text{معامل } M + y_2 = (-M) - y_2 = R$$

ولحساب هذه المعاملات عددياً نحتاج إلى قيم عددية للمتغيرات y_1 ، y_2 لأن معاملات دالة الهدف تتغير عند أي محاولة، ونتوقع أن قيم y_1 ، y_2 تتغير من محاولة إلى التي بعدها، والصياغة التالية يمكن استخدامها لحل إيجاد قيم المتغيرات الشائبة عند أي محاولة.

$$\begin{pmatrix} \text{معكوس المصفوفات} \\ \text{عند أي محاولة } i \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \text{معامل دالة الهدف} \\ \text{الأصلية عند أي محاولة } i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{قيم المتغيرات الثنائية} \\ \text{عند أي محاولة } i \end{pmatrix}$$

وبالنظر إلى الجدول (7.1)

محاولة 0 : (معامل x_4 , R) = $(-M, 0)$

محاولة 1 : (معامل x_3 , x_4) = $(4, 0)$

محاولة 2 : (معامل x_3 , x_2) = $(12, 4)$

محاولة 3 : (معامل x_1 , x_2) = $(5, 12)$

7.4.3 ملخص طريقة حساب النموذج الأولي الثاني:

- 1- احسب كل عنصر في كل عمود في كل قيد باستخدام الطريقة (7.4.1).
- 2- احسب القيم الثنائية وذلك بضرب المسألة الأصلية (معاملات دالة الهدف الأصلية) في الحل الحالي في معكوس الصف.
- 3- احسب الطرف الشمالي للعناصر دالة الهدف لمعرفة الفرق بين الطرف الشمالي والطرف اليميني.

7.4.4 التفسير الاقتصادي لعنى النموذج الثاني:

Economic Interpretation of Duality

- 1- عند الوصول إلى الحل الأمثل : (at optimum)

$$\begin{pmatrix} \text{قيمة دالة الهدف} \\ \text{الثنائية} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{قيمة دالة الهدف} \\ \text{الأولية} \end{pmatrix}$$

2- عند أي محاولة أثناء الحل وقبل الوصول إلى الحل الأمثل في المسألة الأولية:

$$\begin{pmatrix} \text{الطرف الأيمن} \\ \text{المقابل للقيود الثنائية} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{الطرف الشمال} \\ \text{المقابل للقيود الثنائية} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{معامل دالة الهدف} \\ \text{للمغيرات } x_j \end{pmatrix}$$

وإن هاتين التيجتين تؤديان إلى ملاحظة اقتصادية مهمة للنماذج الثنائية والمتغيرات الثنائية - ويمكن تمثيل العلاقة بين النموذج الأولي والنموذج الثنائية على الصورة التالية.

النموذج الأولي:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & z = \sum_{j=1}^n L_j x_j \\ \text{Subject to:} \quad & \sum_{j=1}^n L_j x_j = b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

النموذج الثنائي:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & z = \sum_{i=1}^m b_i y_i \\ \text{Subject to:} \quad & \sum_{i=1}^m a_{ij} C_j y_i = b_j \quad j = 1, 2, \dots, m \\ & y_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

حيث إن المعاملات C_j تمثل الربح لكل وحدة منتجة من النشاط j . وإن كمية الموارد المتاحة b_i ، والتي خصصت بمعدل a_{ij} وحدة من الموارد i لكل وحدة من المخرجات للنشاط j .

7.5 طريقة حل للمسائل الثنائية بواسطة السمبلكس (Dual Simplex Method)

من خلال الفصول السابقة التي تناولت طريقة السمبلكس للمسألة الأولى تبين إذا كان $z_j - C_j < 0$ في حالة التعظيم لأي متغير أو أكثر فإن المسألة ليس له الحل الأمثل - وأن الشرط الأساسي لتحقيق الحل الأمثل أن جميع $z_j - C_j \geq 0$ لكل j .

فإذا نظرنا إلى هذا الشرط من ناحية أو جهة المسائل الثنائية، فإن:

$$z_j - C_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} y_i - C_j$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} y_i < C_j \quad \text{فإن} \quad z_j - C_j < 0$$

والذي يعني أن المسألة الثنائية لها حل غير موجود وهذا الشرط يتحقق عندما تكون المسألة الأولية ليس حل أمثل.

ومن جهة أخرى عندما يكون:

$$z_j - C_j < 0$$

فإن

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} y_i < C_j$$

وهذا يعني أن المسألة الثنائية في دائرة الحل أو طريقها للحل عندما تكون المسألة الأولى لها حل مثالي.

وبناء على النتائج المدونة أعلاه فإنه يقترح حل مسألة البرمجة الخطية من جديد أو من بدايتها مرة ثانية، حيث تكون بداية المسألة ليس حل واضح ولكن في النهاية لها حل مثالي (ويمكن مقارنتها بطريقة السمبلكس الاعتيادية والتي تبدأ لهما في أن لها الحل واضح وفي الأخير لا يوجد لها حل، أما الطريقة التي تختصر الحل تسمى السمبلكس الثنائي (Dual Simplex). والتي تبدأ من عدم وجود حل واضح (Infeasibility)

وتنتهي عندما يتوفر وضوح وجود للمسألة (Feasibility) وعند توفر (Feasibility) عندما يكون الحل الأمثل (Optimality). وهذا النوع من المسائل متوفر جداً في مسائل البرمجة الخطية وله أهمية كبرى، ويمكن أن يكون له عامل مساعد ومباشر في تحليل حساسية متغيرات مسائل LP.

مثال 7.4:

$$\text{Minimize } z = 2x_1 + x_2$$

Subject to:

$$3x_1 + x_2 \geq 3$$

$$4x_1 - 3x_2 \geq 6$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 3$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

الخطوة الابتدائية تحول كل القيود من \leq وإضافة المتغير الاحتياطي (Stack variable) للحصول على إشارة التساوي (=).

$$\text{Minimize } z = 2x_1 + x_2$$

Subject to: بشرط

$$-3x_1 - x_2 + x_3 = -3$$

$$-4x_1 - 3x_2 + x_4 = -6$$

$$x_1 - 2x_2 + x_5 = 3$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0$$

البداية بطريقة السمبلكس الاعتيادية والتي توضح أن المتغيرات الاحتياطية (x_3, x_4, x_5) لا توفر حل واضح مادام المسألة تصغر وكل معاملات دالة الهدف تكون ≥ 0 وهذا يعني أن الحل الأساسي للمسألة هو:

$$x_3 = -3$$

$$x_4 = -6$$

$$x_5 = 3$$

فهو حل مثالي (Optimal) لكن غير منظور أو حل خيالي لأنه لا يحقق شرط $x \geq 0$ للجميع.

∴ المسألة يمكن معالجتها حلها بطريقة السمبلكس الثاني:

| المتغيرات الأساسية | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | الحل |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| z | -2 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| x_3 | -3 | -1 | 1 | 0 | 0 | -3 |
| x_4 | -4 | -3 | 0 | 1 | 0 | -6 |
| x_5 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 |

وكما هو معروف في طريقة السمبلكس - أن الطريقة تعتمد على توفر الحل المثالي - وشرط عدم الخيالية في الأرقام - حيث شرط توفر الحل المثالي تضمن توفر الحل المثالي - وعدم الخيالية تضغط على قيم المتغيرات نحو نقاط الحل ومساحته المعروفة بطرق استخدام الرسم (أنظر الفصل الثالث).

شرط عدم الخيالية في قيم الأرقام (Feasibility Condition):

إن المتغير الذي يخرج من المتغيرات الأساسية يعتبر له أكبر قيمة سالبة. أما إذا كان المتغير الأساسي غير سالم فإن عمليات التغيير يجب أن تتوقف ويعتبر الحل المنظور (الغير خيالي) مثالي.

شروط وجود الحل المثالي (Optimality):

إن المتغير الذي يدخل من ضمن متغيرات الحل يتم اختياره من ضمن المتغيرات الغير أساسية في الحل (Nonbasic). تأخر النسبة بالنسبة للطرف الشمال أو معاملات الطرف الشمال ل المعادلة Z إلى المعاملات المقابلة للمتغير المقترح أو المختار خروجه من المتغيرات الأساسية. إهمال أي نسبة مقامها + أو صفر - ويقرر دخول المتغير وفقاً للأقل نسبة موجبة، أما إذا كانت كل المقامات صفر أو قيمة موجبة فإن المسألة لها حل خيالي. (unfeasible)

ويعد اختيار المتغير الذي يدخل متغيرات الحل واختيار المتغير الذي يخرج يلي ذلك الحصول على تغيير الصفوف للحصول على المصفوفة الأحادية المعهودة ومنها إلى محاولة أخرى حتى الوصول إلى الحل الأمثل أو التوقف عن وجود حل.

فبالإشارة إلى الجدول السابق نلاحظ أن المتغير المختار إلى الخروج ($x_4 = -6$) لأنه يتحصل أكبر قيمة سالبة. أما المتغير التي دخل الحل فيعطي وفقاً للجدول التالي:

| المتغيرات الأساسية | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 |
|--------------------|---------------|---------------|-------|-------|-------|
| معادلة Z | -2 | -1 | 0 | 0 | 0 |
| معادلة x_3 | -4 | -2 | 0 | 1 | 0 |
| النسب | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{3}$ | - | - | - |

∴ المتغير المرشح للدخول x_2 لأنه مقابل إلى أقل قيمة موجبة ($\frac{1}{3}$) وبتطبيق قواعد المصفوفات للحصول على المصفوفة الأحادية التالية للمتغيرات نحصل على الجدول التالي:

| المتغيرات الأساسية | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | الحل |
|--------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|------|
| z | $-\frac{2}{3}$ | 0 | 0 | $-\frac{1}{3}$ | 0 | 2 |
| x_3 | $-\frac{5}{3}$ | 0 | 1 | $-\frac{1}{3}$ | 0 | -1 |
| x_4 | $-\frac{4}{3}$ | -1 | 0 | $-\frac{1}{3}$ | 0 | 2 |
| x_5 | $-\frac{5}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{2}{3}$ | 1 | -1 |

الحل المدرج أعلاه مثالي ولكن خيالي حيث $x_3 = -1$ ، $x_5 = -1$

فإذا اخترنا x_3 لمغادرة المتغيرات الأساسية، فإن x_1 تنطبق عليه الشروط للدخول إلى قائمة المتغيرات الأساسية والتي تعطي بالجدول التالي:

| المتغيرات الأساسية | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | الحل |
|--------------------|-------|-------|----------------|----------------|-------|------|
| z | 0 | 0 | $-\frac{2}{5}$ | $-\frac{1}{5}$ | 0 | 2 |
| x_1 | 1 | 0 | $-\frac{3}{5}$ | $\frac{1}{5}$ | 0 | -1 |
| x_2 | 0 | 1 | $\frac{4}{5}$ | $-\frac{3}{5}$ | 0 | 2 |
| x_3 | 0 | 0 | -1 | 1 | 1 | -1 |

ومن الجدول الأخير يتضح أن الحل مثالي وغير خيالي.

يعتبر تطبيق طريقة السمبلكس الثانية ذات استخدام مفيد في تحليل الحساسية. وتظهر هذه الأهمية عندما يضاف قيد جديد للمسألة بعد الحصول على الحل للمسألة بكل الإضافة. فإذا كان القيد (المضاف) لا يحقق شرط الحل الأمثل والغير خيالي فإن المسألة سيبقى لها حل مثالي ولكن خيالي. وبالتالي طريقة السمبلكس الثانية يمكن استخدامها بدون إعادة الحل من البداية حتى تحقق شروط الحل الأمثل والغير خيالي في عدد قليل من الخطوات الحسائية.

7.6 تحليل الحساسية (Sensitivity Analysis):

من المعروف بأنه في معظم التطبيقات العملية أن بعض المعلومات لا تكون دقيقة إنما هي مقربة أو محاكاة للواقع الفعلي إلى حد حقيقي جداً، وعليه فإن من المهم أن تجد الحل الأمثل مرة أخرى عند إتاحة المعلومات (Information Availability) الأكثر دقة حتى يعد حل المسائل، وهذا ممكن أن يحصل بدون إعادة حل المسألة الأصلية من البداية. وفي بعض الأحيان أن بعض المتغيرات يحصل عليه تغير أثناء عملية صياغة المسألة وقبيل بدأ الحل أو في إحدى مراحل الحل.

بالإضافة إلى ذلك أن بعض القيود لا تكون مساوية تماماً عند الحصول على الحل الأمثل وبالتالي يجب النظر في هذه الإتاحة من خلال وجود الحل الأمثل، ويمكن أن يضاف قيد آخر بعد حل المسألة نظراً للتطورات التي تحصل في المسألة من البداية.

كل هذه التطورات التي تحصل على نموذج البرمجة الخطية وما شابه ذلك يمكن أن تسمى بتحليل الحساسية . فعلى سبيل المثال:

$$\text{Minimize } z = c x$$

S. T.

$$A x = b$$

$$x \geq 0$$

ولمعرفة أهمية قواعد الحساسية وذلك باعتبار مسألة تطبيقية وذلك على النحو الآتي:

$$\text{Minimize } z = 3 x_1 + 2 x_2$$

S.T تحت شرط

$$x_1 + 2x_2 \leq 0 \quad (\text{مواد خام A})$$

$$2x_1 + x_2 \leq 8 \quad (\text{مواد خام B})$$

$$-x_1 + x_2 \leq 1 \quad (\text{نهاية الطلبية})$$

$$x_2 \leq 2 \quad (\text{نهاية الطلبية})$$

$$x_1, x_2 \geq 0 \quad (\text{شروط عدم السلبية})$$

بعد الحصول على الحل الأمثل ترغب إدارة الإنتاج لتحديد هذه الحالة وفقاً للتغيرات الآتية:

1- يرغب قسم تخطيط الإنتاج لزيادة 2 طن من المواد الخام B ويقابل هذا زيادة المواد الخام A إلى 3 طن.

2- إن الاحتياج إلى المنتج x_2 يصبح 3.5 بدلاً من 2 كنهاية للطلب.

3- استخدام الماجة الخام A & B يتطلب دراسة لتقليصها في المادة. النتيجة من 1 & 2 إلى 0.8 و 1.7 (يقصد بهما معاملات المعادلة (القيد) الأولى المصاحبة (x_2, x_1))

4- معاملات الربح في دالة الهدف وفقاً لقسم الحسابات بالمصنع تتغير إلى 2.5 ، 1.5 د.ل/ طن بدلاً من 3 ، 2 كما هو في المسألة الأصلية.

5- من خلال دراسات السوق وجد أنه لا يمكن استخدام كمية من المواد A ، B أكثر من 3 طن بدلاً من 5 و 8.

نلاحظ أن قائمة المطالب والتي تشمل تغيير المسألة الأصلية تحتاج إلى زمن كثير لحل المسألة 5 مرات على الأقل. وهذه الحالة يعبر عنها بتحليل الحساسية. والسؤال المطروح هل عندما تحصل هذه التغيرات يبقى الحل الأمثل - هو الحل الأمثل. والجواب يقع في احتمالين لا غير.

- 1- الحل الحالي يمكن أن يصبح حل خيالي (Infeasible).
- 2- الحل الحالي يمكن أن يصبح غير مثالي (Nonoptimal).

وهذان الاحتمالات يعتمد على نتيجة حسابات النموذج الأولي - الثاني.

وبناءً على المناقشة يمكن اتخاذ إجراءات تحليل الحساسية في الخطوات التالية:

الخطوة الأولى: حل المسألة الأصلية للبرمجة الخطية لإيجاد الحل الأمثل بواسطة طريقة السمبلكس.

الخطوة الثانية: وفقاً للتغيرات المطلوبة في معاملات المسألة تستخدم طريقة حساب النموذج الأولي - الثاني.

الخطوة الثالثة: إذا كان جدول المصفوفات الجديد لا يطابق الحل الأمثل. أذهب إلى الخطوة الرابعة. إذا كان الحل الخيالي أذهب إلى الخطوة الخامسة. أما إذا كان الحل المثالي توقف.

الخطوة الرابعة: طبق طريقة السمبلكس الاعتيادية لإيجاد الحل الأمثل للمسألة (الجدول) الجديدة. أو أثبت أن الحل ذو مساحة غير معلومة (Unbounded).

الخطوة الخامسة: طبق طريقة الحل للنموذج الأولي - والثاني لإيجاد الحل الأمثل الجديد، أو وضح أنه لا يوجد للمسألة حل.

وفقاً للخطوات السابقة نتجه الآن لشرح كيفية تطبيق تحليل الحساسية للمسألة المذكورة أعلاه.

المسألة الأولى:

Minimize $z = 3x_1 + 2x_2$ تعظيم

S. T.

$$x_1 + 2x_2 \leq 6$$

$$2x_1 + x_2 \leq 8$$

$$-x_1 + x_2 \leq 1$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

الخطوة الابتدائية تحول كل القيود من \leq وإضافة المتغير الاحتياطي (Stack variable) للحصول على إشارة التساوي (=).

Minimize $z = 6y_1 + 8y_2 + y_3 + 2y_4$

S. T

$$y_1 + 2y_2 - y_3 \geq 3$$

$$2y_1 + y_2 + y_3 + y_4 \geq 2$$

$$y_1, y_2, y_3, y_4$$

إن الحل الأمثل للمسألة الأولية يعطي بالجدول التالي:

وكل هذه المعلومات تصلح لبداية تحليل الحساسية كما هو مشار إليه في الخطوة الأولى المذكورة أعلاه.

| المتغيرات الأساسية | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الحل |
|--------------------|-------|-------|----------------|----------------|-------|-------|----------------|
| z | 0 | 0 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{4}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{38}{3}$ |
| x_1 | 0 | 0 | $\frac{2}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{4}{3}$ |
| x_2 | 1 | 0 | $-\frac{1}{3}$ | $\frac{2}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{10}{3}$ |
| x_3 | 0 | 0 | -1 | 1 | 1 | 0 | 3 |
| x_6 | 0 | 0 | $-\frac{2}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | 0 | 1 | $\frac{2}{3}$ |

سوف نشير إلى الحل الأمثل بالحل الحالي (Current solution).

7.6.1 حالات الحساسية

1- التغير في الطرف الأيمن في القيود (b)

إذا حصل تغير في القيد الأول للطرف الأيمن من 6 طن إلى 7 طن فما هو التغير الذي يحصل على الحل الأمثل. يمكن معالجته باستخدام طريقة الحل الأولي - الثاني وذلك على النحو الآتي:

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ x_1 \\ x_5 \\ x_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & 0 \\ -\frac{2}{3} & \frac{1}{3} & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 7 \\ 8 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{الطرف} \\ \text{الأيمن} \\ \text{الجديد} \end{pmatrix}$$

وبما أن الطرف الأيمن الجديد مازال غير سالب. هذا يعني أن الحل الأمثل يبقى أمثل ويصبح التغير فقط في قيم $x_5 = 2$ ، $x_2 = 2$ ، $x_1 = 3$

أما إذا فرضنا في الطرف الأيمن تغيرت قيم القيد الأول والثاني من 6 و 8 إلى 7 ، 4 فيمكن حساب الطرف الأيمن الجديد على النحو الآتي:

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ x_1 \\ x_5 \\ x_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & 0 \\ -\frac{2}{3} & \frac{1}{3} & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 7 \\ 4 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -10 \\ 1 \\ 3 \\ -2 \\ 4 \\ -\frac{3}{3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{الطرف} \\ \text{الأيمن} \\ \text{الجديد} \end{pmatrix}$$

ولهذا التغير أثر على قيم x_5 ، x_6 تحولن إلى قيم سالبة وأصبح الحل خيالي.

والآن يجب أن نطبق طريقة النموذج الأولي - الثاني لمعالجة مشكلة الخيالية وذلك يوضح القيم في الجدول التالي:

| المتغيرات الأساسية | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الحل |
|--------------------|-------|-------|----------------|----------------|-------|-------|----------------|
| z | 0 | 0 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{4}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{23}{3}$ |
| x_2 | 0 | 1 | $\frac{2}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{10}{3}$ |
| x_1 | 1 | 0 | $-\frac{1}{3}$ | $\frac{2}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{1}{3}$ |
| x_5 | 0 | 0 | -1 | 1 | 1 | 0 | -2 |
| x_6 | 0 | 0 | $-\frac{2}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | 0 | 1 | $-\frac{4}{3}$ |

وأن قيمة (z) الجديدة $\frac{23}{3}$ وأن الجدول أعلاه يعطي الحل المثالي حيث معادلة Z تمتاز بأن قيمتها كلها ≥ 0 لكن الحل خيالي لأن بعض القيم سالبة وبالتالي فإن تطبيق طريقة السمبلكس للنموذج الأولي - الثاني تعتبر ضرورية لتحقيق المثالية والحقيقة. ووفقاً لقواعد الطريقة فإن x_5 تخرج من متغيرات الحل و x_3 تدخل لمتغيرات الحل والتي يعطي بالجدول التالي:

| المتغيرات الأساسية | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الحل |
|--------------------|-------|-------|-------|----------------|----------------|-------|------|
| z | 0 | 0 | 0 | $\frac{5}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | 0 | 7 |
| x_2 | 0 | 1 | 0 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{2}{3}$ | 0 | 2 |
| x_1 | 1 | 0 | 0 | $\frac{1}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | 0 | 1 |
| x_3 | 0 | 0 | 1 | -1 | -1 | 0 | 2 |
| x_6 | 0 | 0 | 0 | $-\frac{1}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ | 1 | 0 |

هذا الجدول يحقق شرط الحل الأمثل والأعداد الحقيقية والحل الأمثل هو:

$z = 7$ ، $x_2 = 2$ ، $x_1 = 1$ حيث أن الحل ذو أعداد حقيقية تحقق في محاولة واحدة

فقط.

2- إضافة قيد جديد للمسألة الأولى:

عند إضافة قيد جديد سوف ينتج عنه شرطين لا غيرهما:

1- تحقيق أن الحل الأمثل لا يتغير نتيجة كون القيد مكرر أو داخل منطقة الحل (Nonbinding or redundant).

2- إن القيد لا يحقق الحل الأمثل ولا الأعداد الحقيقية، وبالتالي نحتاج إلى تطبيق طريقة السمبلكس للنموذج الأولي - الثاني ولتوضيح هذه الحالات نفرض إضافة القيد التالي:

$$x_1 \leq 4$$

وهذا القيد يجب أن يضاف إلى النموذج الأول.

وبما أن $x_1 = \frac{10}{3}$ ، $x_2 = \frac{4}{3}$ من الواضح أنه يحقق القيد المضاف ولا داعي لحصول أي تغير يذكر.

أما إذا افترضنا أن القيد المضاف

$$x_1 \leq 3 \text{ من الواضح أنه لا يحقق الحل الحالي } x_1 = \frac{10}{3} , x_2 = \frac{4}{3} . \text{ لأننا لم نعطي}$$

حقيقة الأرقام.

ولحل المسألة بعد إضافة القيد الجديد يجب أن نضيف له المتغير الفائض.

فيصبح القيد على النحو الآتي:

$$x_1 + x_7 = 3 \quad x_7 \geq 0$$

من المعروف أنه في الحل الحالي x_1 في الحل الأمثل وبالتعويض في معادلة القيد الأول

$$x_1 - \left(\frac{1}{3}\right)x_3 + \left(\frac{2}{3}\right)x_4 = \frac{10}{3}$$

وبالتالي يصبح القيد الجديد

$$\frac{10}{3} + \left(\frac{1}{3}\right)x_3 - \left(\frac{2}{3}\right)x_4 + x_7 = 3$$

أو

$$\frac{1}{3}x_3 - \frac{2}{3}x_4 + x_7 = -\frac{1}{3}$$

وأن القيمة السالبة في الطرف الأيمن تعطي عدم توفر شرط الأرقام الحقيقي.
فإذا قلنا أن

$$x_3 = x_4 = 0$$

$$x_7 = -\frac{1}{3} \text{ والتي يعرض شرط أن}$$

$$x_7 \geq 0$$

فالجداول التالي يوضح المعلومات الملخصة أعلاه:

| المتغيرات الأساسية | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | الحل |
|--------------------|-------|-------|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|
| z | 0 | 0 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{4}{3}$ | 0 | 0 | 0 | $\frac{38}{3}$ |
| x_3 | 0 | 0 | $\frac{2}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | 0 | 0 | 0 | $\frac{10}{3}$ |
| x_1 | 1 | 0 | $-\frac{1}{3}$ | $\frac{2}{3}$ | 0 | 0 | 0 | $\frac{10}{3}$ |
| x_5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| x_6 | 0 | 0 | $-\frac{2}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | 0 | 1 | 0 | $\frac{2}{3}$ |
| x_7 | 0 | 0 | $\frac{1}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ | 0 | 0 | 1 | $-\frac{1}{3}$ |

بطريقة السمبلكس الأولي - الثاني x_4 و x_7 تدخل والتي يعطي التالي الحل الأمثل.

| المتغيرات الأساسية | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | الحل |
|--------------------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|----------------|---------------|
| z | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 12 |
| x_2 | 0 | 1 | $\frac{1}{2}$ | 0 | 0 | 0 | $-\frac{1}{2}$ | $\frac{3}{2}$ |
| x_1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| x_5 | 0 | 0 | $-\frac{1}{2}$ | 0 | 1 | 0 | $\frac{3}{2}$ | $\frac{5}{2}$ |
| x_6 | 0 | 0 | $-\frac{1}{2}$ | 0 | 0 | 1 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ |
| x_7 | 0 | 0 | $-\frac{1}{2}$ | 1 | 0 | 0 | $-\frac{2}{3}$ | $\frac{1}{2}$ |

وهو الحل الأمثل الجديد في محاولة واحدة فقط.

3- التغيير في معاملات دالة الهدف

يمكن شرح هذه الظاهرة مباشرة باستخدام المثال السابق حيث:

$$z = 3x_1 + 2x_3$$

وتغيرت هذه الدالة

$$z = 5x_1 + 2x_3$$

فيمكن حساب القيم الثنائية (y_i) (Dual values)

$$y_1, y_2, y_3, y_4 = (4, 5, 0, 0) \begin{pmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 & 0 \\ -\frac{2}{3} & \frac{1}{3} & 0 & 1 \end{pmatrix} = (1, 2, 0, 0)$$

والخطوة الثانية بإعادة حساب معاملات المعادلة z بواسطة أخذ الفرق ما بين الطرف الشمالي والطرف اليمين لقيود المسألة الثانية.

وهذا يعمل على النحو الآتي:

$$\begin{aligned} \text{معامل } x_1 &= y_1 + 2y_2 - y_3 - 5 \\ &= 1(1) + 2(2) - (0) - (5) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{معامل } x_2 &= 2y_1 + y_2 + y_3 + y_4 - 4 \\ &= 2(1) + 2 + 0 + 0 - 4 = 0 \end{aligned}$$

$$\text{معامل } x_3 = y_1 - 0 = 1 - 0 = 1$$

$$\text{معامل } x_4 = y_2 - 0 = 2 - 0 = 2$$

$$\text{معامل } x_5 = y_3 - 0 = 0 - 0 = 0$$

$$\text{معامل } x_6 = y_4 - 0 = 0 - 0 = 0$$

وبما أن كل معاملات المعادلة $0 \leq 2$ (تعظيم) وهذا يعني أن دالة الهدف لا تغير من الحل الأمثل الحالي وقيمتها الجديدة.

$$5\left(\frac{10}{3}\right) + 4\left(\frac{4}{3}\right) = 22$$

فإذا فرضنا أن دالة الهدف تغيرت إلى الحالة التالية:

$$z = 4x_1 + x_2$$

$$\begin{aligned} \therefore (y_1, y_2, y_3, y_4) &= (4, 5, 0, 0) \begin{pmatrix} \frac{2}{3} & \frac{-1}{3} & 0 & 0 \\ \frac{-1}{3} & \frac{2}{3} & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & 0 \\ \frac{-2}{3} & \frac{1}{3} & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ &= \left(\frac{-2}{3}, \frac{7}{3}, 0, 0\right) \end{aligned}$$

ويمكن التحقق من قيم z الجديدة:

| الحل | x_6 | x_5 | x_4 | x_3 | x_2 | x_1 | المتغيرات الأساسية |
|----------------|-------|-------|---------------|----------------|-------|-------|--------------------|
| $\frac{44}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{7}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ | 0 | 0 | z |

وبما أن $x_3 \geq 0$ (قيمة سالبة) فيجب x_3 أن تدخل الحل وتحقق الحل الأمثل بتطبيق طريقة السمبلكس للنموذج الأول - الثاني وكما هو موضح بالجداول التالية:

| الحل | x_6 | x_5 | x_4 | x_3 | x_2 | x_1 | المتغير | المحاولة |
|----------------|-------|-------|----------------|----------------|---------------|-------|---------|------------|
| $\frac{44}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{7}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ | 0 | 0 | z | 1 |
| $\frac{4}{3}$ | 0 | 0 | $-\frac{1}{3}$ | $\frac{2}{3}$ | 1 | 0 | x_2 | x_2 تدخل |
| $\frac{10}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{2}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | 0 | 1 | x_1 | x_1 تخرج |
| 3 | 0 | 1 | 1 | -1 | 0 | 0 | x_5 | |
| $\frac{2}{3}$ | 1 | 0 | $\frac{1}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ | 0 | 0 | x_6 | |
| 16 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | z | |
| 2 | 0 | 0 | $-\frac{1}{2}$ | 1 | $\frac{3}{2}$ | 0 | x_3 | |
| 4 | 0 | 0 | $\frac{1}{2}$ | 0 | $\frac{1}{2}$ | 1 | x_1 | |
| 5 | 0 | 1 | $\frac{1}{2}$ | 0 | $\frac{3}{2}$ | 0 | x_5 | |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | x_6 | |

4- إضافة نشاط جديد (New x)

يمكن المقصود بإضافة متغير جديد وفق المثال الآتي:

Maximize تعظيم

Subject to تحت شرط

$$x_1 + 2x_2 + \frac{3}{4}x_7 \leq 6$$

$$2x_1 + x_2 + \frac{3}{4}x_7 \leq 8$$

$$-x_1 + x_2 - x_7 \leq 1$$

$$x_2 \leq 2$$

$$x_1, x_2, x_7 \geq 0$$

ويعني إضافة متغير مستوي لعمل تغير دالة الهدف. ويمكن اعتبار x_7 بأنها موجودة أصلا في المسألة مع توفر معاملات صفر.

وأول اختبار يجب التفكير فيه اختبار النموذج الثاني المقابل.

$$\left(\frac{3}{4}\right)y_1 + \left(\frac{3}{4}\right)y_2 - y_3 \geq \frac{2}{3}$$

وبما أن نلاحظ أن x_7 متغير غير أساسي (لا بدخل في الحل) في المسألة الأولية. النموذج الثاني غير متغير.

∴ فإن معامل x_7 في الحل الأول مثالي.

$$\left(\frac{3}{4}\right)\left(\frac{1}{3}\right) + \left(\frac{3}{4}\right)\left(\frac{4}{3}\right) - (1)(0) - \frac{3}{2} = -\frac{1}{4}$$

وهذا يعني أن الحل سوف يتحسن إذا x_7 أصبحت (+)

الحل المثالي الحالي يمكن تحسنه بخلق عمود ف الطرف الشئالي للمعادلة z

ومعاملها التي تساوي $-\frac{1}{4}$.

والقيد المصاحب مما يحسب على النحو الآتي:

$$\begin{pmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & 0 & 0 \\ \frac{3}{3} & \frac{3}{3} & 1 & 0 \\ -\frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{3}{4} \\ \frac{3}{4} \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{4} \\ \frac{1}{4} \\ -1 \\ -\frac{1}{4} \end{pmatrix}$$

أنظر الجداول التالية:

| المتغيرات الأساسية | x_1 | x_2 | x_7 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | الحل |
|--------------------|-------|-------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|----------------|
| z | 0 | 0 | $-\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{4}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{38}{3}$ |
| x_2 | 0 | 1 | $\frac{1}{4}$ | $\frac{2}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{4}{3}$ |
| x_1 | 1 | 0 | $\frac{1}{4}$ | $-\frac{1}{3}$ | $\frac{2}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{10}{3}$ |
| x_5 | 0 | 0 | 1 | -1 | 1 | 1 | 0 | 3 |
| x_6 | 0 | 0 | $-\frac{1}{4}$ | $-\frac{2}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | 0 | 1 | $\frac{2}{3}$ |
| z | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 14 |
| x_7 | 0 | 4 | 0 | $\frac{8}{3}$ | $-\frac{4}{3}$ | 0 | 0 | $\frac{1}{3}$ |
| x_1 | 1 | -1 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| x_5 | 0 | 4 | 0 | $\frac{5}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | 1 | 0 | $\frac{25}{3}$ |
| x_6 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |

7.7 مسائل:

ضع علامة (✓) أو (x) على العبارات التالية:

- 1- المسألة الأولية يجب دائما أن تكون من نوع تعظيم ()
- 2- النموذج الثاني للنموذج الثاني هو النموذج الأولي ()
- 3- إذا كان حل المسألة الأولية غير محدود فإن حل النموذج الثاني خيالي ()
- 4- إذا كان النموذج الأولي حله غير مثالي، فإن النموذج الثاني يكون خيالي ()
- 5- التغير في الطرف الأيمن من القيود يؤثر فقط على قيم الحل في الجدول الذي يعطي الحل الأمثل ()
- 6- إضافة نشاط جديد يمكن أن يحسن قيمة دالة الهدف ()
- 7- إضافة قيد جديد يحسن من قيمة دالة الهدف ()
- 8- إذا تم تغير الطرف الأيمن للقيود ومعاملات دالة الهدف يمكن أن يبطل توفر الحل الأمثل والوجود الحقيقي للقيم العددية ()
- 9- في طريقة السمبلكس للنموذج الأولي - الثاني. مسائل البرمجة الخطية تبدأ من وجود حل مثالي ولكن خيالي ()
- 10- إذا كانت مسألة البرمجة الخطية الأولية أصلها مسألة تصغير فإن مسألة النموذج الثاني تكون تعظيم وبإشارة للقيود ≤. ()
- 11- أكتب النموذج الثاني للمسائل الآتية:

Maximize $z = 10 x_1 + 20 x_2$ -أ
S. T.

$$-x_1 + x_2 \leq -3$$

$$2x_1 + 3x_2 \leq 5$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Maximize $z = 6 x_1 - 3 x_2$ -ب
S. T.

$$6x_1 + 3x_2 + x_3 \geq 2$$

$$3x_1 + 4x_2 + x_3 \geq 5$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Maximize $z = 5 x_1 + 6 x_2$ -ج
S. T.

$$x_1 + 2x_2 = 5$$

$$2x_1 + 3x_2 \geq 3$$

x_1 غير محدد الإشارة

$$x_2 \geq 0$$

Maximize $z = 3 x_1 + 4 x_2 + 6 x_3$ -د
S. T.

$$x_1 + x_2 \geq 10$$

$$x_1, x_3 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

Maximize $z = x_1 + x_2$ -هـ
S. T.

$$2x_1 + x_2 = 5$$

$$3x_1 + x_2 \geq 6$$

x_1, x_2 غير محدد الإشارة

12- إذا علمت أن

$$\text{Maximize } z = 5x_1 + 2x_2 + 3x_3$$

S.T.

$$x_1 + 5x_2 + 2x_3 \leq b_1$$

$$x_1 + 5x_2 - 6x_3 \leq b_2$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

حيث b_1, b_2 ثوابت ولقيم خاصة لـ b_1, b_2 يعطي الحل الأمثل بالجدول التالي:

| المتغيرات الأساسية | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | الحل |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| z | 0 | a | 7 | d | e | 150 |
| x_1 | 1 | b | 2 | 1 | 0 | 30 |
| s_1 | 0 | c | -8 | -1 | 1 | 10 |

حيث a, b, c, d, e ثوابت، أحسب

أ- قيم b_1, b_2 التي تحقق الحل الأمثل.

ب- الحل الأمثل للنموذج الثاني.

ج- قيم a, b, c عند توفر الحل الأمثل.

13- حل المسألة التالية بطريقة السمبلكس للنموذج الثاني:

$$\text{Maximize } z = 2x_1 + 3x_2$$

S. T.

$$2x_1 + 3x_2 \leq 30$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 10$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

14- حل المسألة التالية بطريقة السمبلكس للنموذج الثاني:

$$\text{Maximize } z = 5x_1 + 6x_2 + 3x_3$$

S. T.

$$5x_1 + 5x_2 + 3x_3 \geq 502$$

$$x_1 + x_2 + x_3 \geq 20$$

$$7x_1 + 6x_2 + 9x_3 \geq 30$$

$$5x_1 + 5x_2 + 5x_3 \geq 35$$

$$2x_1 + 4x_2 - 15x_3 \geq 10$$

$$12x_1 + 10x_2 \geq 90$$

$$x_1 - 10x_3 \geq 20$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

قارن عدد القيود ما بين المسألة الأولى والثانية.

15- حل المسألة (14) إذا أصبحت دالة الهدف

$$\text{Min } z = 6x_1 + 8x_2 + 3x_3$$

الفصل الثامن

مشكلة النقل

يهتم هذا الفصل بموضوع حيوي الا وهو مشكلة التوزيع باعتبارها حالة خاصة من حالات البرمجة الخطية التي يمكن حلها بواسطة طريقة السمبلكس. ويركز الفصل على طريقة فوجل التقريبية كتقنية مستخدمة في هذا المجال. بالإضافة إلى أن الفصل يسلط الضوء على الطرق المساعدة الأخرى في حل مشاكل التوزيع.

Transportation Problem

8.1 مقدمة

تُعد مشكلة النقل والتوزيع من بين المشاكل الخاصة بمسائل البرمجة الخطية وكانت محاولة (Cooper) سنة 1953م لوضع نموذج مشكلة التوزيع في صورة مبسطة أولى المحاولات المثمرة في هذا المجال حيث توصل إلى ما يسمى بطريقة الحجر المتنقل (Stepping stone) المشهورة.

ثم قام (Ferguson) بتهديب طريقة الحجر المتنقل سنة 1955 لتصبح ما يسمى بطريقة التوزيع المعدلة، وفي أواخر السنة نفسها ظهر ما يسمى بطريقة فوجل التقريبية (Vogel's approximation).

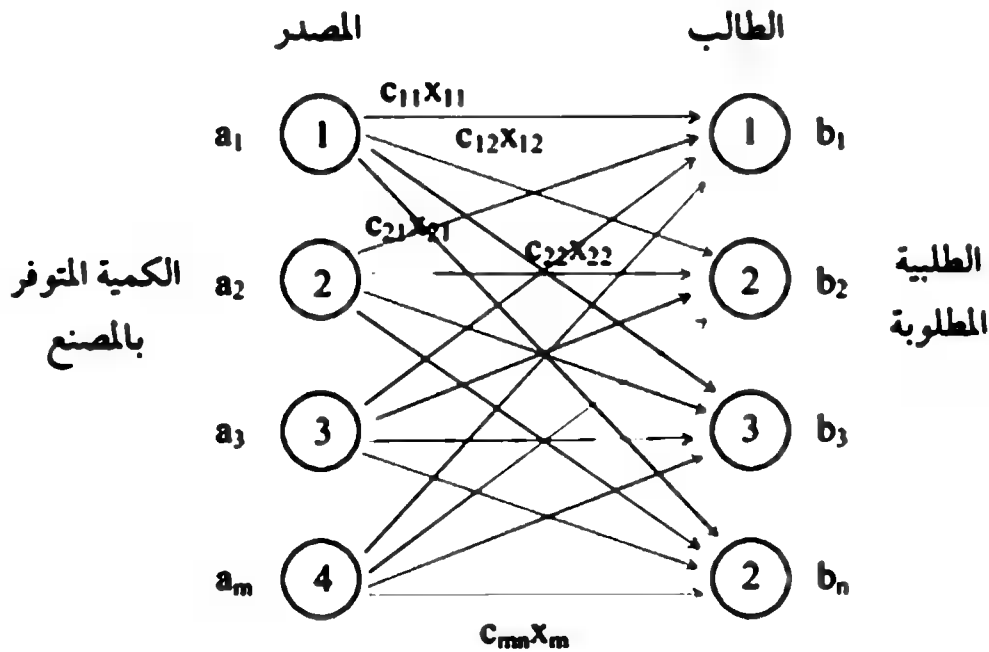
التي تعتبر في واقع الأمر طريقة مساعدة لإحدى الطريقتين السابقتين في حل مشاكل التوزيع، وتعتبر مشكلة التوزيع حالة خاصة من حالات البرمجة الخطية ويمكن حلها بواسطة طريقة السمبلكس.

وتوجد طريقة رياضية أخرى لحل مسائل البرمجة الخطية لسهولة عملها وقلة عملياتها الحسابية والتي تستخدم في حل هذا النوع من المسائل ويرجع السبب في تسمية هذه المشكلة بالنقل إلى تعدد مراكز الإنتاج وتعدد المناطق التي تصل إليها المنتجات، ويزداد تعدد مراكز الإنتاج وتعدد المناطق التي تصل إليها المنتجات، ويزداد تعدد هذه المشكلة مع تعدد مراكز الاستلام فزيادة هذه المراكز تزداد البدائل المتاحة مما يعني صعوبة تقسيمها للوصول إلى أدنى التكاليف وهو الهدف المطلوب الوصول إليه في مثل هذه

المشكلات، والشكل (8.1) يمثل توضيح مباشر لنموذج مشكلة النقل حيث يظهر فيه الهدف الأساسي لمشكلة النقل أي نقل وحدات من منتج من المخازن أو خطوة الإنتاج إلى عدة مواقع يمكن الاستفادة منها (أماكن استلام).

وذلك في ضوء توفر المعلومات التالية:

- 1- مستوى توفر المنتج في المصنع ومستوى طلب المواقع المستلمة لهذا المنتج.
- 2- تكلفة الوحدة الواحدة من المنتج من مراكز وجودها إلى مراكز أو مواقع استلامها أو استعمالها.



شكل (8.1)

| من إلى | المصدر | | | | المتاح |
|-----------|--------|----|----|----|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | 2 | 4 | 3 | 7 | 10 |
| 2 | 5 | 1 | 7 | 3 | 15 |
| | 2 | 2 | 6 | 6 | 15 |
| 3 | | | | | |
| المطلوب | 8 | 12 | 10 | 10 | 40 |
| | | | | | 40 |

نلاحظ أن كل مربع يمكن توضيحه على النحو التالي:

| | |
|----------|----------|
| c_{ij} | C_{ij} |
| x_{ij} | |

C_{ij} تعني تكلفة النقل للوحدة من المصنع i إلى المخزن j .

c_{ij} تعني مقدار التغير لصالح الحصول على الحل الأمثل.

x_{ij} تعني عدد الوحدات التي نقلت من المصنع i إلى المخزن j .

ويمكن صياغة النموذج الرياضي لمشكلة النقل على النحو الآتي:

إذا فرضنا أن x_{ij} تمثل كمية المواد المنقولة من المصدر i إلى الطالب j .

$$\text{Minimize } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} x_{ij}$$

S.T.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{لكل } i, j$$

إن مجموع القيود الأولى تمثل مجموع كمية المواد المنقولة من المصدر i بحيث لا تزيد عن المتوفر في المصدر، أما مجموعة القيود الثانية فهي تمثل أن مجموع المواد المنقولة إلى الطالب لا تزيد عن حاجته b وهذا يعني أن $\sum_{j=1}^n a_i = \sum_{j=1}^n b_j$ ويسمى هذا النوع من مسائل النقل بالمشاكل المتعادلة.

علماً بأن المتوفر في الحياة التطبيقية يكون أحياناً أكثر من الطلبية والأمثلة عديدة. ولتوضيح هذه الفكرة نشرح الأمثلة الآتية:

مثال 8.1:

الشركة الوطنية للأسمنت لها مواقع في المنطقة الغربية في الجماهيرية الليبية في كل من الخمس، سوق الخميس، زليكن.

وتوزيع كل من طرابلس - مصراته، فإذا فرضنا أن سعة المواقع الثلاثة هي: 1000، 1500، 1200 طن وأن الطلبية المواقع هي 2300، 2400 طن وأن تكلفة نقل الطن هي 1000 درهم/ كيلو متر.

وأن المسافات بين المدن موضحة في الجدول التالي بالكيلو متر.

| | طرابلس | مصراته |
|------------|--------|--------|
| الخمس | 120 | 80 |
| سوف الخميس | 90 | 140 |
| زليطن | 160 | 40 |

ويمكن تحويل جدول الكيلومترات إلى جدول دينارات، على اعتبار أن تكلفة الكيلومتر 1000 درهم.

| | طرابلس | مصراته |
|------------|--------|--------|
| الخمس | 120 | 80 |
| سوف الخميس | 90 | 140 |
| زليطن | 160 | 140 |

فإذا فرضنا أن x كمية الأسمت بالطن المنقولة من المصانع إلى الواقع فإن مجموع الإنتاج = (3700 = 1200 + 1500 + 1000 طن).

وأن مجموع الطلبية = (2300 + 1400 = 3700 طن)، وهذا يعني أن كمية الإنتاج تساوي كمية الطلبية ويكون نموذج البرمجة الخطية على النحو الآتي:

$$\text{Min } z = 120 x_{11} + 80 x_{12} + 90 x_{21} + 140 x_{22} + 160 x_{31} + 40 x_{32}$$

S. T.

$$x_{11} + x_{12} = 1000$$

$$x_{11} + x_{22} = 1500$$

$$x_{31} + x_{32} = 1200$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} = 2300$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} = 1400$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ لكل } j, i$$

ويمكن تمثيلها بواسطة الجداول

| | طرابلس | مصراته | |
|------------|-----------------|-----------------|------|
| الخمس | 120 x_{11} | 80 x_{12} | 1000 |
| سوق الخميس | 90 x_{21} | 140 x_{22} | 1500 |
| زليتن | 60 x_{31} | 40 x_{23} | 1200 |
| | 1300 | 1400 | |

إذا فرضنا أن مصنع سوق الخميس للأسمنت أصبحت سعته الإنتاجية 1300 طن/ يومياً بدلاً من 1500 طن وبالتالي تتغير المسألة إلى حالة عدم التوازن، أي أصبح مجموع المصدر المنتج 3500 بدلاً من 3700 وبالتالي أصبح هناك نقص في الطلبية الإجمالية قدرة 1500 - 1300 = 200 طن/ يومياً وبالتالي يجب أن نشير إلى إضافة ما يسمى بالمصدر الوهمي أو المصدر الفارغ (Dummy) وبالتالي يمكن جدولة المسألة على النحو التالي:

| | طرابلس | مصراته | |
|--------------------|--------|--------|------|
| الخمس | 120 | 80 | 1000 |
| سوق الخميس | 90 | 140 | 1500 |
| زليتن | 160 | 40 | 1200 |
| المصنع الغير موجود | 0 | 0 | 200 |
| | 2300 | 1400 | |

أما إذا كان المصدر يفوق الطلب أو الطلبية الواردة من جميع المصانع وبالتالي يضاف طالب غير موجود (وهمي) فعلى سبيل المثال إذا انخفضت طلبية طرابلس من 2300 إلى 1900 بالتالي يمكن صياغة الجدول على النحو التالي:

| | مركز الطلبية غير موجود | مصراته | طرابلس | |
|------------|---------------------------|--------|--------|------|
| الخمس | 0 | 80 | 120 | 1000 |
| سوق الخميس | 0 | 140 | 90 | 1500 |
| زليتن | 0 | 40 | 160 | 1200 |
| | 400 | 1400 | 1900 | |

ويقصد بالصفر تكلفة النقل إلى الموقع الوهمي.

8.2 طرق حل مشكلة النقل:

خطوات الحل:

- 1- احسب الحل الابتدائي للمسألة.
- 2- احسب المتغير الذي يدخل في الحل من المتغيرات التي خارج نطاق الحل. إذا كانت كل المتغيرات التي خارج نطاق الحل لا يجوز لها الدخول في الحل حسب شروط الحل الأمثل (وفقاً للشروط المعروفة بطريقة السمبلكس) توقف ويعتبر هذا الحل (الحل الأمثل) غيره أذهب إلى الخطوة الثالثة.
- 3- أحسب المتغير الموجود بالحل الذي يحق له الخروج من الحل مع تحقق أنه متغير يحقق شروط الحل الابتدائي ومنه أذهب إلى الخطوة الثانية ولشرح هذه الخطوات نستعرض المثال الآتي:

| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|
| 1 | 10 x_{11} | 0 x_{12} | 20 x_{13} | 11 x_{14} | 15 |
| 2 المصدر | 12 x_{21} | 7 x_{22} | 9 x_{23} | 20 x_{24} | 25 |
| 3 | 0 x_{31} | 14 x_{32} | 16 x_{33} | 18 x_{34} | 5 |
| الطالب | 5 | 15 | 15 | 10 | |

8.2.1 طريقة حساب العمل الابتدائي:

من المعروف أن الشرط العام لحل مسائل النقل هو:

$$\sum_{j=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

وهذا أيضاً يقرر أن أي مسألة نقل لابد أن تشترط (m + n - 1) معادلات غير معتمدة على بعضها وعليه فإن أي حل ابتدائي بواسطة طريقة السمبلكس يستوجب عدد (m - n - 1) متغير أساسي في الحل.

من الطبيعي أن أي مسألة نقل يمكن صياغتها على نموذج برجة خطية ومن الممكن استخدام متغيرات فائضة للحصول على الحل الابتدائي.

وللحصول على الحل الابتدائي لمسألة النقل نستخدم طريقة تسمى طريقة زاوية الركن الشمالي الغربي (North west corner) مع العلم بوجود طريقتين هما البداية بأقل تكلفة ممكنة (minimum cost) وطريقة فوجل التقريبية (vogel's approximation)

(method) وتهتم طريقة زاوية الركن الشمالي الغربي بوضع أكبر كمية ممكنة ويسمح بها المصدر والطلب إلى قيمة x_{11} وأن الصف العمود الذي يتم تحقيق سعته يشطب من جدول مسألة النقل وهذا يعني أن باقي المتغيرات التي في الصف أو العمود الذي تم شطبه قيمتها صفر.

أما إذا تم تحقيق سعة الصف فقط أو العمود فقط فيتم شطب الصف أو العمود فقط. ولتوضيح هذه الطريقة بالنظر إلى الجدول حسب الخطوات التالية:

1- $x_{m1} = 5$ وبالتالي يتم شطب العمود الأول وبالتالي لا يمكن إضافة أي قيمة لهذا العمود ويتم شطبه.

2- $x_{12} = 10$ وبالتالي يتم شطب الصف الأول ونبقى خمس وحدات في العمود الثاني.

3- $x_{22} = 5$ ويتم شطب العمود الثاني ويبقى 20 في الصف الثاني.

4- $x_{23} = 15$ ويتم شطب العمود الثالث ويبقى 5 في الصف الثاني.

5- $x_{24} = 5$ ويشطب الصف الثاني ويبقى 5 في العمود الرابع.

6- $x_{34} = 5$ ويشطب الصف الثالث والعمود الرابع ويتم الإجراء لتوزيع الكميات في مواقعها.

وبالتالي يعتبر الحل الابتدائي للمسألة على النحو الآتي:

$$x_{11} = 5$$

$$x_{23} = 15$$

$$x_{12} = 10$$

$$x_{24} = 5$$

$$x_{22} = 5$$

$$x_{34} = 15$$

$$0 = x_{ij} \text{ وباقي}$$

ويكون إجمالي التكلفة للنقل:

$$\text{د.ل } 5 \times 10 + 10 \times 0 + 5 \times 7 + 15 \times 9 + 5 \times 20 + 5 \times 18 = 410$$

وكما هو موضح بالجدول التالي:

| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|---|---|----|----|---|----|
| 1 | 5 | 10 | 0 | 0 | 15 |
| 2 | 0 | 5 | 15 | 5 | 25 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 |

نلاحظ أنه عندما يكون العمود والصف لها كميات مقنعة بالتناول، عليه فإن المتغير الذي يجب إضافته إلى المتغيرات الواقعة في نطاق الحل يجب أن يكون عند المستوى صفر. الجدول التالي يوضح هذه الفكرة.

مثال العمود (2) والصف (2) كمياتهم مقنعة بالتبادل.

فإذا كان العمود (2) تم شطبه فإن x_{23} تصبح في مستوى صفر.

وفي الخطو التي تليها باقي المورد أو المصدر في الصف (2) تكون صفر. أما إذا كان الصف (2) شطب فإن x_{23} تصبح صفر.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|---|---|---------------|---|---|-----------------|
| 1 | 5 | 5 | | | 10 5 |
| 2 | | 5 | 0 | | 5 0 |
| 3 | | | 8 | 7 | 15 |
| | 5 | 10 | 8 | 7 | |
| | | 5 | | | |

نلاحظ أن الحل الابتدائي المتوفر الجدولين السابقين يحقق أن عدد المتغيرات الأساسية في دائرة الحل يساوي:

$$m + n - 1 = 4 + 3 - 1 = 6$$

وهذه ميزة لاستخدام طريقة زاوية الركن الشمالي الغربي.

8.2.2 طريقة حساب تعديد المتغير الذي يدخل لتحسين الحل:

يمكن تحديد المتغير الذي لتحسين الحل بواسطة تطبيق شروط الحصول على الحل الأمثل بطريقة السمبلكس - حيث أن حساب قيمة دالة الهدف يعتمد على طريقة النموذج الأولي - والثاني وعلاقتها. كما ورد في الفصل السابق.

ويمكن استخدام طريقة تسمى المضروبوات المرافقة u_i , v_i لكل من الصف i والعمود j لجدول مسألة النقل لكل متغير أساسي x_{ij} للحل الحالي بحيث أن المضروبوات u_i , v_i يجب أن تحقق المعادلات التالية لكل x_{ij} $u_i + v_i = c_{ij}$ وعدد هذه المعادلات يساوي $(m + n - 1)$ علماً بأن الغير معلوم هو عددهم $(m+n)$.

ويمكن حساب u_i , v_i بوضع قيمة اختيارية لأحد المضروبوات على سبيل المثال لو فرضنا أن $(u_i = 0)$ وبالتالي يمكن حل معادلات عددها على سبيل المثال لو فرضنا أن $(u_i = 0)$ وبالتالي يمكن حل معادلات عددها $(m + n - 1)$ ومتغيرات عددها $(m + n - 1)$ وبالتالي يمكن اختيار أي متغير غير أساسي في الحل x_{pq} بواسطة المعادلة التالية:

$$C_{pq} = u_p - v_q - C_{pq} \quad \text{لكل متغير } x_{pq}$$

فعلى سبيل التوضيح في الجدول السابق يمكن حساب قيم المتغيرات الأساسية وهي:

$$x_{11}: u_1 + v_1 = c_{11} = 10$$

$$x_{12}: u_1 + v_2 = c_{13} = 0$$

$$x_{22}: u_2 + v_2 = c_{22} = 7$$

$$x_{23}: u_2 + v_3 = c_{23} = 9$$

$$x_{24}: u_2 + v_4 = c_{24} = 20$$

$$x_{34}: u_3 + v_4 = c_{34} = 18$$

بفرض أن $u_1 = 0$ يمكن حساب باقي المضروبوات.

$$v_1 = 10 \quad u_2 = 7$$

$$v_2 = 0 \quad u_3 = 5$$

$$v_3 = 2$$

$$v_4 = 13$$

ويمكن حساب المتغيرات غير الأساسية على النحو الآتي:

$$x_{13}: \bar{c}_{13} = u_1 + v_3 - c_{13} = 0 - 2 - 20 = -18$$

$$x_{14}: \bar{c}_{14} = u_1 + v_4 - c_{14} = 0 + 13 - 11 = 2$$

$$x_{21}: \bar{c}_{21} = u_1 + v_1 - c_{21} = 7 + 10 - 12 = 5$$

$$x_{31}: \bar{c}_{31} = u_2 + v_1 - c_{31} = 5 + 10 - 0 = 15$$

$$x_{32}: \bar{c}_{32} = u_3 + v_2 - c_{32} = 5 + 10 - 14 = -9$$

$$x_{33}: \bar{c}_{33} = u_4 + v_3 - c_{33} = 5 + 2 - 16 = -9$$

وبما أن x_{31} لها أكبر قيمة موجبة \bar{c}_{31} .

∴ نختار x_{31} للدخول في المتغيرات الأساسية وفقاً لهذه القاعدة.

8.2.3 طريقة حساب تحديد المتغير الذي يخرج من الحل الأساسي:

وفقاً لقواعد السمبلكس لاختيار المتغير الذي يخرج وذلك باستخدام أقل نسبة موجبة يمكن تصميم شبكة مغلقة للمتغير المطلوب دخوله في الحل (x_{31}) في هذه المحاولة كما هو موضح في الجدول التالي:

| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|--------|----|----|----|----|----|
| 1 | 10 | 0 | 20 | 11 | 15 |
| 2 | 12 | 7 | 9 | 20 | 25 |
| 3 | 0 | 14 | 16 | 18 | 5 |
| الطالب | 5 | 15 | 15 | 10 | |

Diagram showing the flow of x_{31} from cell (3,1) to (1,1) and (3,4) to (2,4) with associated values and signs.

$$x_{31} \rightarrow x_{11} \rightarrow x_{21} \rightarrow x_{22} \rightarrow x_{24} \rightarrow x_{33} \rightarrow x_{31}$$

نلاحظ في الجدول السابق أنه إذا كان x_{31} المتغير إلى يدخل يزداد مقدار وحده هذا يعني أن x_{11} ينقص 1 و x_{24} يزيد 1 وأخيراً x_{34} ينقص 1، ويمكن تلخيص الإجراء بوضع \oplus ، \ominus في كل زاوية مناسبة بحيث أن هذه الإضافة تحفظ شروط المورد والطلب ثابتة حسب المسألة الأولى.

∴ يمكن اختيار المتغير الذي يخرج من الحل من خلال المتغيرات الواقعة في الزوايا بحيث ينقص عندما يدخل x_{31} ويزداد بمقدار أكثر من الصفر.

ومن الجدول السابق نلاحظ أن المربعات التي تحتوي - هي x_{34} ، x_{23} ، x_{11} هي متغيرات أساسية في الحل وسوف تنقص عندما x_{31} يزيد.

ويمكن اختيار المتغير الذي يخرج وهو المتغير الذي يحتوي على أقل قيمة حتى يصل إلى الصفر ومنها إلى الناقص. وفي هذا المثال المتغيرات الثلاثة التي تنقص - هي x_{34} ، x_{23} ، x_{11} ولها نفس القيمة (=5) وفي هذه الحالة يمكن اختيار أي واحد منهم.

فمثلاً لو اخترنا x_{34} فبالتالي تصبح قيمة $x_{31} = 5$ وأن كل المتغيرات التي لها إشارة \oplus تزيد 5 والتي لها إشارة - تنقص \ominus كما في الجدول التالي

| | | | | | | |
|--------|---|----|----|----|----|----|
| المصدر | 1 | 10 | 0 | 20 | 11 | 15 |
| | 2 | 12 | 7 | 9 | 20 | 25 |
| | 3 | 0 | 14 | 16 | 18 | 5 |
| | | 5 | 15 | 15 | 10 | |

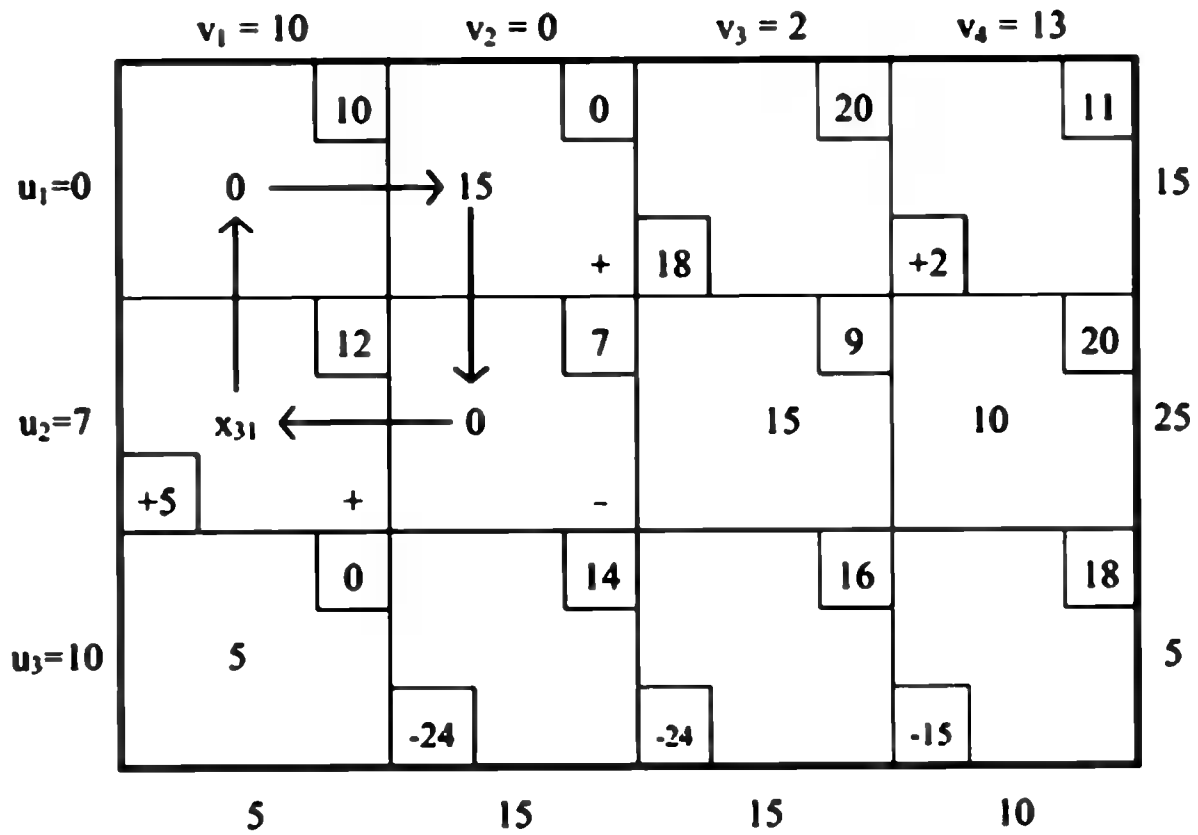
ومن خلال الجدول الموضح أعلاه فإن إجمالي التكاليف يساوي:

$$0 \times 10 + 15 \times 0 + 0 \times 7 + 15 \times 9 + 10 \times 20 + 5 \times 0 = 355 \text{ L.D}$$

حيث أن التكاليف هذه تختلف عن التكاليف السابقة بالآتي:

$$410 - 335 = 75 \text{ L.D}$$

وبما أن الحل في المحاولة الثانية موضح في الجدول السابق ويمكن اختيار هذا الحل هو الحل الأمثل باختيار الحصول على المضروب الجديدة بإجراء العمليات الحسابية لـ x_{21} سوف يدخل الحل والذي يحتوي على أكبر قيمة موجبة C_{ij} كما هو موضح بالجدول التالي:



ونلاحظ أن الشبكة المغلقة للمتغير x_{21} تعطي بأن x_{11} أو x_{22} يمكن أن تخرج من أساسيات الحل وباختيار عشوائي نفترض أن تخرج x_{11} وبناء الجدول التالي يوضح أن الحل الذي يعين المتغيرات الأساسية من الجدول السابق (x_{21}) تدخل الحل و (x_{11}) تغادر الحل وأن قيم المضروببات u_i ، v_i ، C_{ij} تحسب من جديد كما هو موضح بالجدول التالي:

| | | | | | |
|----------|------------|-----------|-----------|------------|----|
| | $v_1 = 10$ | $v_2 = 0$ | $v_3 = 2$ | $v_4 = 13$ | |
| $u_1=0$ | 10 | 0 | 20 | 11 | 15 |
| | | 15 ← | | x_{14} | |
| | | + | -18 | +2 | |
| $u_2=7$ | 12 | 7 | 9 | 20 | 25 |
| | 0 | 0 | 15 | → 10 | |
| | +5 | + | | | |
| $u_3=10$ | 0 | 14 | 16 | 18 | 5 |
| | 5 | | | | |
| | | -19 | -19 | -10 | |
| | 5 | 15 | 15 | 10 | |

ويمكن من الجدول السابق استخراج الحل الجديد على الجدول التالي وبما أن كل C_B غير موجبة.

∴ فإن الحل يتحقق في الجدول التالي:

| | | | | | |
|----------|-----------|-----------|-----------|------------|----|
| | $v_1 = 5$ | $v_2 = 0$ | $v_3 = 2$ | $v_4 = 11$ | |
| $u_1=0$ | 10 | 0 | 20 | 11 | 15 |
| | -5 | 5 | | 10 | |
| $u_2=7$ | 12 | 7 | 9 | 20 | 25 |
| | 0 | 10 | 15 | | |
| $u_3=-5$ | 0 | 14 | 16 | 18 | 5 |
| | 5 | | | | |
| | | -19 | -19 | -12 | |
| | 5 | 15 | 15 | 10 | |

∴ يمكن صياغة الحل النهائي وذلك:

بإرسال 5 وحدات من 1 إلى 2 بكلفة $0 = 0 \times 5$
 بإرسال 10 وحدات من 1 إلى 24 بكلفة $110 = 11 \times 10$
 بإرسال 10 وحدات من 2 إلى 2 بكلفة $70 = 7 \times 10$
 بإرسال 15 وحدات من 2 إلى 3 بكلفة $135 = 9 \times 15$
 بإرسال 5 وحدات من 3 إلى 1 بكلفة $0 = 0 \times 5$
 وبالتالي يكون التكلفة الإجمالية = 315 د.ل.

8.2.4 طرق تحسين الحل الابتدائي:

أ- طريقة أقل تكلفة ممكنة (Least cost method):

تعتمد خطوات هذه الطريقة على وضع أكبر كمية ممكنة لأقل تكلفة ممكنة في جميع مربعات الجدول أي يتم أولاً نقل كمية من مركز إنتاجي إلى مركز توزيعي تكون فيه تكاليف النقل أقل مستوى مقارنة بتكاليف نقل أي كمية من أي مركز إنتاجي لأي مركز تسويقي ثم يتم النقل للمخازن ذات الكلف الأعلى تدريجياً.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|---|----|----|----|----|----|
| 1 | 0 | 15 | 20 | 11 | 15 |
| 2 | 12 | 7 | 9 | 20 | 25 |
| 3 | 0 | 14 | 16 | 18 | 5 |

وتكون التكلفة الإجمالية

$$\text{د.ل } 15 \times 9 + 20 \times 10 + 11 \times 0 + 0 \times 15 + 10 \times 0 + 0 \times 5 = 335$$

ب- طريقة فوجل التقريبية (Vogel's approximation):

ويطلق عليها طريقة (VAM) أو طريقة الجزاء (Penalty) أو طريقة كلفة الفرصة البديلة (Alternative cost method).

وتعتبر هذه الطريقة أفضل الطرق لتحقيق الحل الابتدائي لمسائل النقل وأحياناً تؤدي هذه الطريقة إلى تحقيق الحل الأمثل.

وتتخذ هذه الطريقة الخطوات التالية:

1- حساب التكلفة الفرضية (Opportunity cost) لكل صف أو عمود وذلك بطرح أقل تكلفة نقل الكلفة التي تليها في كل صف أو عمود.

2- تعريف الصف أو العمود الذي يصاحب أكبر عقوبة، اختيار أحدهما إذا تساوى (أي اختيار أعلى كلفة فرضية في أي صف أفقي، أو عمودي حيث أن عدم اختيار هذه الفرصة يعني تحمل الشركة لكلف أكثر منها وتحمل الخسارة).

3- أ - إذا لم يوجد صف أو عمود غير مشطوب توقف.

ب- إذا تبقى صف أو عمود موجب ولم يشطب بالطريقة السابقة احسب الحل بواسطة طريقة أل تكلفة ممكنة.

ج- إذا كانت جميع الصفوف والأعمدة الغير مشطوبة لها مورد صفر أو طالب صفر - أكمل الحل بواسطة أقل تكلفة ممكنة.

د- إذا حصل خلاف ما ذكر أعلاه - احسب العقوبة وارجع الخطوة رقم (2) والمثال التالي يوضح طريقة الحل بالطريقة المذكورة أعلاه.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | عقوبة الصفوف |
|---------------|---|----|----|----|--------------|
| 1 | | 10 | 0 | 20 | 11 |
| 2 | | 12 | 7 | 9 | 20 |
| 3 | | 0 | 14 | 16 | 18 |
| عقوبة الأعمدة | 5 | 15 | 15 | 10 | |

| | 1 | 2 | 3 | 4 | عقوبة الصفوف |
|---------------|---|----|----|----|--------------|
| 1 | | 10 | 0 | 20 | 11 |
| 2 | | 12 | 7 | 9 | 20 |
| 3 | | 0 | 14 | 16 | 18 |
| عقوبة الأعمدة | 5 | 15 | 15 | 10 | |

$$x_{12} = 15 \quad x_{23} = 15 \quad x_{24} = 10 \quad x_{31} = 5$$

التكلفة الإجمالية = 335 د.ل.

8.3 نموذج التعيين (The Assignment Model)

وهو حالة خاصة في حالات أسلوب النقل الذي يستخدم في تخصيص أوامر إنتاج كل آلات وأوامر على عمل وهكذا..

يتم نموذج التعيين بحالة أن عدد الوظائف m لبعض المنتجين يمكن تعيينهم لبعض الآلات n .

وظيفة i ($i = 1, 2, \dots, m$) تخصيص للآلة j

($j = 1, 2, \dots, n$) وتحتاج إلى تكلفة c_{ij} .

ويظل الهدف لتعيين وظائف i للآلات j بحيث يتحقق أقل تكلفة إجمالية ممكنة (تصغير التكلفة) وتسمى هذه المسألة بمسألة التعيين.

| | | الآلات | | | |
|---------|---|----------|----------|-------|----------|
| | | 1 | 2 | ..... | n |
| الوظائف | 1 | C_{11} | C_{12} | ..... | C_{1n} |
| | 1 | C_{11} | C_{12} | | C_{1n} |
| | ⋮ | ⋮ | | | ⋮ |
| | ⋮ | ⋮ | | | ⋮ |
| | 1 | C_{m1} | C_{m2} | ..... | C_{mn} |
| | 1 | C_{m1} | C_{m2} | | C_{mn} |

يرجع صياغة هذه المسألة إلى حالة خاصة لمشكلة النقل حيث الوظائف تعبر عن المصدر والآلات المستقبل وأن كمية الصادرات من مصدر تساوى 1 وهذا يعني أن $a_i = 1$ لكل i وبالمثل طلبية المستقبل أو الطالب $b_j = 1$ لكل j . وهذا يناصره أن تكلفة كل تخصص هو c_{ij} . وقبل أن نبدأ حل المسألة بواسطة طريقة مشكلة النقل أو نموذج النقل يجب أن نشير إلى أن

$$m < n \quad \text{أو} \quad m > n$$

$$m = n$$

وعليه يمكن صيانة نموذج التعيين بصفة عامة رياضيا على النحو الآتي:

$$x_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{إذا كانت الوظيفة } j \text{ لم تخصص إلى الآلة } i \\ 1 & \text{إذا كانت الوظيفة } j \text{ تخصصت إلى الآلة } i \end{cases}$$

يعني أن:

$$\text{Minimize } z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} x_{ij}$$

S. T.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$x_{ij} = 0 \quad \text{أو} \quad x_{ij} = 1$$

ولتوضيح نموذج التعيين وذلك بالمثال العددي التالي:

| | 1 | 2 | 3 | |
|---|----|----|----|---|
| 1 | 0 | 20 | 9 | 1 |
| 2 | 14 | 10 | 12 | 1 |
| 3 | 15 | 13 | 16 | 1 |
| | 1 | 1 | 1 | |

في قاعدة الحل أن الحل الأمثل لمسألة التعيين يبدأ ثابت إذا أضيف ثابت أو طرح من أي صف أو عمود كقاعدة جبرية. فمثلاً إذا طرحت ثابت قيمة $q_i = p_i$ من كل صف i أو عمود j فإن المعامل الجديد تتكلفه c_{ij} يصبح

$$\bar{c}_{ij} = c_{ij} - p_i - q_j$$

وهذا التعديل سوف يؤدي إلى دالة هدف جديدة هي :

$$\begin{aligned} z' &= \sum_i \sum_j c'_{ij} \times x_{ij} = \sum_i \sum_j (c_{ij} - p_i - q_j) \times x_{ij} \\ &= \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} - \sum_i p_i \sum_j x_{ij} - \sum_j q_j \sum_i x_{ij} \end{aligned}$$

وبما أن

$$\sum_j x_{ij} = \sum_i x_{ij} = 1$$

وبالتالي:

$$z' = z - \text{constant (ثابت)}$$

وهذا يعطي أن تصغير z يساوي تصغير z'

ومنه نستنتج أنه ممكن إنشاء مصفوفة c'_{ij} تدخلاتها كلها وأصفار وتعطي حل ابتدائي والحل الابتدائي يأخذنا إلى الحل الأمثل لأن كل التكاليف كلها ≥ 0 .

ولتوضيح هذا المبدأ نستدل بالمثالي العددي وذلك بطرح أقل قيمة c'_{ij} في كل صف أو عمود من الصف أو العمود الموجودة فيه ونتحصل على الجدول التالي كخطوة أولية c'_{ij}

(سوف يكون هناك في كل صف على الأقل صفراً واحداً. ونفس الشيء بالنسبة لكل عمود، وبذلك نضمن وجود صف واحد في كل عمود على الأقل وتكون النتيجة كما يلي:)

| | 1 | 2 | 3 | |
|---------------|---|---|---|------------|
| 1 | 0 | 2 | 4 | $P_1 = 5$ |
| $ c'_{ij} $ 2 | 4 | 0 | 2 | $P_2 = 10$ |
| 3 | 2 | 0 | 3 | $P_3 = 13$ |

ويمكن الحصول على إحضار أكثر تطبيق القاعدة على العمود الثالث بطرقي

| | 1 | 2 | 3 |
|---------------|---|---|---|
| 1 | 0 | 2 | 2 |
| $ c'_{ij} $ 2 | 4 | 0 | 0 |
| 3 | 2 | 0 | 0 |

وتعني \square أن هذا الحل حل ابتدائي وبالتالي يتم التخصيص على النحو الآتي:

(1,1) ، (2,3) ، (3,2)

(الوظيفة الثالثة للآلة رقم 2)، (الوظيفة الثانية للآلة رقم 3)، (الوظيفة الأولى للآلة رقم 1).

والتكلفة الإجمالية $30 = 13 + 12 + 5$ د.ل

في هذا المثال تحقق الحل الأمثل في خطوة واحدة ولا يحصل هذا في كل المسائل ولتوضيح نلاحظ في المثال التالي:

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|----|---|
| 1 | 1 | 4 | 6 | 3 |
| 2 | 9 | 7 | 10 | 9 |
| 3 | 4 | 5 | 11 | 7 |
| 4 | 8 | 7 | 8 | 5 |

باتخاذ نفس الخطوات السابقة نحصل على الجدول التالي:

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 3 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 3 | 0 | 1 | 4 | 3 |
| 4 | 3 | 2 | 0 | 0 |

لحل هذه المسألة يرسم خطوط بأقل عدد ممكن لتغطية كل العدد (صفر). فإذا تركت عناصر بدون خطوط - يعني أن هذا الحل ليس الحل الابتدائي أو الحل الأمثل كما هو موضح بالجدول التالي:

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 3 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 3 | 0 | 1 | 4 | 3 |
| 4 | 3 | 2 | 0 | 0 |

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 3 | 2 | 2 |
| 2 | 3 | 0 | 0 | 2 |
| 3 | 0 | 0 | 3 | 2 |
| 4 | 4 | 2 | 0 | 0 |

الخطوة هذه يطرح أقل عنصر غير مخطوط عليه (1) في الجدول الذي به خطوط تحصل على الجدول الأخير، وبالتالي الحل يكون (1,1) (2,3) ، (3,2) (4,4).

ويكون التكلفة الإجمالية = $1 + 10 + 5 + 5 = 21$ د.ل

مثال 2:

| موقع العمل | | الزبائن | | | | |
|------------|---|---------|----|----|----|----|
| | | A | B | C | D | E |
| | 1 | 10 | 5 | 9 | 18 | 11 |
| | 2 | 13 | 19 | 6 | 12 | 14 |
| | 3 | 3 | 2 | 4 | 4 | 5 |
| | 4 | 18 | 9 | 12 | 17 | 15 |
| | 5 | 11 | 6 | 14 | 19 | 10 |

إن المصفوفة أعلاه توضح تخصيص الزبائن من A ← E إلى المواقع 1 - 5 والمطلوب اتخاذ قرار تخصيص كل زبون واحد إلى موقع واحد بأقل تكلفة ممكنة حيث أن المعلومات داخل الجدول تعني تكليف التعيين.

الحل:

1- اختيار أَل تكلفة في كل صف.

| | A | B | C | D | E | أقل تكلفة |
|---|----|----|----|----|----|-----------|
| 1 | 10 | 5 | 9 | 18 | 11 | 5 |
| 2 | 13 | 19 | 6 | 12 | 14 | 6 |
| 3 | 3 | 2 | 4 | 4 | 5 | 3 |
| 4 | 18 | 9 | 12 | 17 | 15 | 9 |
| 5 | 11 | 6 | 14 | 19 | 10 | 6 |

2- أ طرح أقل قيمة في الصف من كل صف وذلك على النحو الآتي:

| | A | B | C | D | E |
|---|---|----|---|----|---|
| 1 | 5 | 0 | 4 | 13 | 6 |
| 2 | 7 | 13 | 0 | 6 | 8 |
| 3 | 1 | 0 | 2 | 2 | 3 |
| 4 | 9 | 0 | 3 | 8 | 6 |
| 5 | 5 | 0 | 8 | 13 | 4 |

3- اختيار أقل عدد من الخطوط الأفقية والرأسية لتغطية عدد صفر.

| | A | B | C | D | E |
|---|---|----|---|----|---|
| 1 | 5 | 0 | 4 | 13 | 6 |
| 2 | 7 | 13 | 0 | 6 | 8 |
| 3 | 1 | 0 | 2 | 2 | 3 |
| 4 | 9 | 0 | 3 | 8 | 6 |
| 5 | 5 | 0 | 8 | 13 | 4 |

N=2

4- إذا كان عدد الخطوط أقل من عدد الصفوف والأعمدة أنتقل إلى الخطوة القادمة (N = 2 < 5).

4- اختار أقل قيم لكل عمود كما هو موضح بالجدول التالي:

| | A | B | C | D | E |
|---|---|----|---|----|---|
| 1 | 5 | 0 | 4 | 13 | 6 |
| 2 | 7 | 13 | 0 | 6 | 8 |
| 3 | 1 | 0 | 2 | 2 | 3 |
| 4 | 9 | 0 | 3 | 8 | 6 |
| 5 | 5 | 0 | 8 | 13 | 4 |
| | 1 | 0 | 0 | 2 | 3 |

أقل قيم هي:

6- أترح أقل قيم في أي عمود من الأعمدة. كما هو موضح بالجدول الآتي:

| | A | B | C | D | E |
|---|---|----|---|----|---|
| 1 | 4 | 0 | 4 | 11 | 3 |
| 2 | 6 | 13 | 0 | 4 | 5 |
| 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 4 | 3 | 0 | 3 | 6 | 3 |
| 5 | 4 | 0 | 8 | 11 | 1 |

7- اختار أقل عدد من الخطوط الرئيسية أو العمودية لتغطية عدد صفر كما هو موضح بالجدول الآتي:

| | A | B | C | D | E |
|---|---|----|---|----|---|
| 1 | 4 | 0 | 4 | 11 | 3 |
| 2 | 6 | 13 | 0 | 4 | 5 |
| 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 4 | 3 | 0 | 3 | 6 | 3 |
| 5 | 4 | 0 | 8 | 11 | 1 |

N=3

8- إذا كان عدد الخطوط أقل من عدد الأعمدة والصفوف أنتقل إلى الخطوة القادمة.

9- عرف العناصر غير المغطاة في المصفوفة السابقة واختار أقل قيمة لأي عنصر غير مغطى.

- 10- أ - ا طرح أقل عنصر غير مغطى من كل عنصر غير مغطى.
 ب- أطبق أقل عنصر غير مغطاة إلى كل عنصر مغطى بخطين.
 ج- لا تغير العناصر المغطاة بخط واحد، كما هو موضح بالجدول التالي:

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|----|---|
| 1 | 3 | 0 | 3 | 10 | 2 |
| 2 | 6 | 4 | 0 | 4 | 5 |
| 3 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 4 | 7 | 0 | 2 | 5 | 2 |
| 5 | 3 | 0 | 7 | 10 | 0 |

- 11- اختار أقل عدد من الخطوات يغطي العنصر صفر في المصفوفة

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|----|---|
| 1 | 3 | 0 | 3 | 10 | 2 |
| 2 | 6 | 4 | 0 | 4 | 5 |
| 3 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 4 | 7 | 0 | 2 | 5 | 2 |
| 5 | 3 | 0 | 7 | 10 | 0 |

N=4 عدد الخطوط

- 12- إذا كان عدد الخطوط الرئيسية والأفقية أقل من عدد صفوف المصفوفة أو أعمدها. كرر الخطوة 9 ، 10 ، 11 حتى يصبح عدد الخطوط الرئيسية والأفقية يساوي عدد الصفوف أو الأعمدة كما هو موضح بالجدول الآتي:

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|----|---|
| 1 | 0 | 0 | 3 | 7 | 2 |
| 2 | 3 | 4 | 0 | 4 | 5 |
| 3 | 0 | 4 | 5 | 0 | 3 |
| 4 | 4 | 0 | 2 | 5 | 2 |
| 5 | 0 | 0 | 7 | 10 | 0 |

عدد الخطوط لتغطية الصفر $N=5$

13- الحل المثالي يتحقق عندما يصبح عدد الخطوط يساوي عدد الأعمدة

∴ الحل المثالي:

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|----|---|
| 1 | 0 | 0 | 3 | 7 | 2 |
| 2 | 3 | 4 | 0 | 4 | 5 |
| 3 | 0 | 4 | 5 | 0 | 3 |
| 4 | 4 | 0 | 2 | 5 | 2 |
| 5 | 0 | 0 | 7 | 10 | 0 |

14- تحسب التكاليف المصاحبة للتخصيص وفق الآتي:

| التكاليف (وفق الجدول الأساسي) | التخصيص |
|-------------------------------|---------|
| 10 | A-1 |
| 6 | C-2 |
| 4 | D-3 |
| 9 | B-4 |
| 10 | E-5 |
| 39 | المجموع |

8.4 مسائل:

1- أوجد حل الجداول التالية باستخدام طريقة النقل بالطرق التالية:

أ - طريقة زاوية الشمال الغربية (North west corner).

ب - طريقة فوجل التقريبية (Vogel's Approximation).

| | 1 | 2 | 3 | |
|---|---|---|----|----|
| 1 | 0 | 2 | 1 | 5 |
| 2 | 2 | 1 | 5 | 10 |
| 3 | 5 | 4 | 3 | 5 |
| | 5 | 5 | 10 | |

| | 1 | 2 | 3 | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 4 | 2 | 8 |
| 2 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3 | 1 | 2 | 0 | 6 |
| | 7 | 6 | 6 | |

2- حل المسألة الآتية الغير متعادلة بطريقة فوجل.

| | 5 | 1 | 0 | 20 |
|---|---|----|----|----|
| 3 | 3 | 2 | 4 | 10 |
| 7 | 7 | 5 | 2 | 15 |
| 9 | 9 | 6 | 0 | 15 |
| | 5 | 10 | 15 | |

4- حل المسألة التالية بواسطة طريقة النقل:

| الفندق | الزبائن | | | | | سعة الفندق |
|------------------|---------|-----|----|----|----|------------|
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 23 | 27 | 32 | 30 | 43 | 115 |
| 2 | 15 | 15 | 20 | 16 | 35 | 65 |
| 3 | 14 | 19 | 25 | 21 | 37 | 100 |
| 4 | 35 | 44 | 47 | 45 | 60 | 35 |
| احتياجات الزبائن | 25 | 100 | 70 | 65 | 45 | |

4- يمكن تغذية خمسة زبائن بواسطة خمسة موانئ مختلفة وتكلفة النقل من كل ميناء لكل زبون موضحة على النحو الآتي. والمطلوب حساب أقل تكلفة إجمالية ممكنة لتخصيص كل زبون لكل ميناء.

| الموانئ | الزبائن | | | | |
|---------|---------|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E |
| 1 | 2 | 5 | 4 | 3 | 7 |
| 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 6 |
| 3 | 5 | 6 | 5 | 3 | 7 |
| 4 | 3 | 4 | 7 | 2 | 4 |
| 5 | 7 | 5 | 6 | 2 | 1 |

5- شركة النقل لشخص البضائع يجب أن ترسل شاحنات إلى كل المدن. ومن المتوفر 6 شاحنات للنقل إلى مناطق مختلفة في البلد. والمصفوفة التالية توضح التكاليف المصاحب لكل شاحنة متوفرة لكل المدن الأربع المخصصة لاستقبال البضائع. وترغب الشركة في تقليل التكاليف لتخصيص كل شاحنة إلى مدينة معينة من المدن الأربع.

| رموز الشاحنات | المدن | | | |
|---------------|-------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| A | 3 | 8 | 2 | 6 |
| B | 7 | 1 | 4 | 5 |
| C | 3 | 8 | 5 | 8 |
| D | 6 | 4 | 3 | 6 |
| E | 5 | 2 | 5 | 3 |
| F | 5 | 7 | 6 | 2 |

6- إذا عرفنا أن 4 فنيين في تخصصهم إلى أربعة آلات وأن التكلفة المصاحبة للتخصيص موضحة بالمصفوفة التالية. مع مراعاة أن الفني 1 لا يخصص إلى الآلة 3 وأن الفني 3 لا يخصص للآلة 4. أوجد الحل الأمثل للتخصيص.

| | | الآلات | | | |
|---------|---|--------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| الفنيين | 1 | 5 | 5 | - | 2 |
| | 2 | 7 | 4 | 2 | 3 |
| | 3 | 9 | 3 | 5 | - |
| | 4 | 7 | 2 | 6 | 7 |

7- حل مسألة النقل الآتية باستخدام الطرق التالية:

أ - زاوية الشمال الغربي.

ب - طريقة أقل تكلفة.

ج - فوجل.

ثم قارن بين حل الطرق الثلاث.

| | | | |
|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 6 | 7 |
| 0 | 4 | 2 | 12 |
| 3 | 1 | 5 | 11 |
| 10 | 10 | 10 | |

| | | | |
|---|----|----|----|
| 5 | 1 | 8 | 12 |
| 2 | 4 | 0 | 14 |
| 3 | 6 | 7 | 4 |
| 9 | 10 | 11 | |

8- ثلاثة مصانع تصفية زيوت النفط سعتها على التوالي 5 ، 6 ، 8 مليون جالون من الوقود وتمّون ثلاثة مواقع طلبيتها اليومية 4 ، 8 ، 7 مليون جالون - وينقل النقل إلى هذه المواقع من خلال أنابيب - وتقدر تكاليف النقل اعتماداً على طول خطوط النقل بمبلغ قدرة 1 دينار/ 100 جالون في الكيلومتر الواحد. وتقدر المسافات بين مصانع التصفيد وأماكن استخدام الزيت وفقاً للمصفوفة التالية: صنع المسألة بواسطة طريقة النقل.

| أماكن استهلاك الزيت | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 120 | 180 | - |
| 2 مصفات الزيت | 300 | 100 | 80 |
| 3 | 250 | 250 | 120 |

الفصل التاسع

برمجة الأعداد الصحيحة

تأتي الأمثلة التطبيقية المتضمنة في هذا الفصل لتوضح بأسلوب مبسط ومتعمق معاً أبرز الطرق والابتكارات المختلفة التي قدمها الباحثون لحل مسائل البرمجة الخطية ذات الأعداد الصحيحة للمسائل ذات الطبيعة الخاصة.

برمجة الأعداد الصحيحة Integer Programming

9.1 مقدمة

تهتم البرمجة الخطية بالأعداد الصحيحة بحيث تصبح كل قيم المتغيرات عند الحل الأمثل أعداد صحيحة أو جزء منها أعداد صحيحة مع فرضية أن النتائج كلها موجبة وبالتالي يطلق عليه أحياناً البرمجة الخطية للأعداد الصحيحة الصافية أو مخلوطة وهذا يعتمد على الشروط الأولية لحل المسألة.

إن مشكلة البرمجة العددية هي في الحقيقة مشكلة برمجة خطية فقدت صفة الخطية لوجوب التخلي عن شروط القابلية للتجزئة بضرورة اتخاذ المتغيرات أو بعضها لقيم غير كسرية وقد تكون مشكلة البرمجة العددية مشكلة مختلطة بمعنى أنه يلزم أن تتخذ بعض المتغيرات قيم غير عشرية بينما البعض الآخر يمكن أن يتخذ قيماً كسرية وأن تكون مشكلة برمجة عددية صرفة بمعنى أنه يلزم أن تتخذ كل المتغيرات قيماً كسرية.

وهناك طرق مختلفة واجتهادات عديدة قدمها الباحثون لحل مسائل البرمجة الخطية ذات الأعداد الصحيحة للمسائل ذات الطبيعة الخاصة.

فمثلاً عدد السيارات التي تنتج يومياً أو أجهزة الإذاعة المرئية ... الخ التي يمكن أن تنتج منها كسر عشري لأنه لا يوفي بالوظيفة الأساسية لإنتاجها، وتوجد حالات خاصة من استخدام البرمجة الخطية الصحيحة التي يتخذ فيها القرار (نعم) أو (لا) وتسمى هذه الحالات الخاصة (1,0) حيث تعني 0 (لا) ، 1 (نعم) وبمعنى آخر أنك تختار هذا المشروع أو لا تختاره، تختار هذا الطريق أو لا تختاره، نستخدم هذا النوع من

الآلات أو لا تختاره، ولتوضيح بعض المشاكل العملية التي يستخدم فيها نظام البرمجة الخطية الصحيحة يمكن التدليل ببعض الأمثلة فيما بعد.

مثال 1:

من المعروف أن أي تخطيط إنتاجي يحتوي على N متوجات تكاليف الإنتاج للمنتج j والتي يمكن أن تحتوي على تكاليف ثابتة K_j والتي لا تعتمد على كمية الإنتاج وتكاليف متغيرة C_j للوحدة المنتجة فإذا كان x_j مستوى الوحدات المنتجة للمنتج j فإن تكاليف المنتج من المعطيات السابقة.

$$C_j(x_j) = \begin{cases} K_j + c_j x_j, & x_j > 0 \\ 0 & x_j = 0 \end{cases}$$

إن دالة الهدف يمكن أن تصاغ إلى النحو الآتي:

$$\text{Minimize } z = \sum_{j=1}^N c_j(x_j)$$

وأن الخاصية x_j الغير خطية تأتي من عدم استمرارية دالة الهدف من وجهة نظر التحليل الرياضي.

والمسألة يمكن أن تكون أكثر سهولة تحليلية وذلك باقتراح الحلول للمتغيرات على النحو التالي:

$$y_i = \begin{cases} 0 & x_i = 0 \\ 1 & x_i > 0 \end{cases}$$

وهذه الشروط يمكن شرحها من نقطة قيود الخطية على النحو الآتي:

$$x_j \leq M y_j$$

حيث $M > 0$ وتكون كبيرة جداً بحيث تكون $x_j \leq M$ عليه يمكن إعادة كتابة دالة الهدف على نمط أكثر وضوح.

$$\text{Minimize } z = \sum_{j=1}^N (c_j x_j + k_j y_j)$$

S. T.

$$0 \leq x_i \leq M y_i \quad \text{لكل } (j)$$

$$y_i = 0 \text{ أو } 1 \quad \text{لكل } (j)$$

ولتوضيح أن $x_i \leq M y_i$ نلاحظ أن:

$$x_j > 0$$

$$y_i = 1$$

و k_j تكلفة ثابتة تضاف إلى دالة الهدف.

فإذا كان $x_j = 0$ و y_j تساوي صفر أو 1

ولكن بما أن $k_j > 0$ و z تصغير

$\therefore y_i$ يجب أن تساوي صفر.

مثال 2:

في خطوط الإنتاج المحدد نلاحظ أن n من العمليات الإنتاجية يمكن أن تعمل على آلة واحدة في أقل زمن ممكن. وفي نهاية كل عملية إنتاجية يتقل المنتج من عملية إنتاجية إلى أخرى حتى آخر عملية إنتاجية ليحقق الزمن اللازم للإنتاج.

وعليه فإن القيود التي تحدد مسار هذه العملية الإنتاجية لها الاشتراطات الآتية:

1- التسلسل.

2- عدد اختلاط العمليات.

3- تحقيق الزمن اللازم للإنتاج.

والشروط الأخرى أنه من الممكن أن تقام عمليتين إنتاجيتين على الآلة الواحدة (بالتناوب).

فمثلاً لو فرضنا أن النوع الأول x_j الزمن المحدد لبداية العملية الإنتاجية الأولى J . وأن a_j هو الزمن اللازم للعملية الإنتاجية J .

فإذا كانت العملية I تسبق العملية J فإن نتيجة التسلسل تعني الآتي:

$$x_i + a_i \leq x_j$$

أما إذا اعتبرنا الشرط الثاني فإن:

$$x_i - x_j \geq a_j \quad \text{أو} \quad x_j - x_i \geq a_i$$

وهذا يعتمد على أن i أو j ثابتاً في الحل الأمثل للمسألة.

أما القيد الثالث

$$y_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{إذا كان العملة } i \text{ تسبق } j \\ 1 & \text{إذا كان العملة } i \text{ تسبق } j \end{cases}$$

للتعرف بأن M قيمة عالية جداً

$$My_{ij} + (x_i - x_j) \geq a_j$$

$$M(1 - y_{ij}) + (x_j - x_i) \geq a_i$$

أما عن زمن إتمام العملية الإنتاجية فيمكن تعريفه بالمعادلة التالية:

$$x_j + a_j \leq d_j$$

حيث d_j الزمن اللازم لتكميل المنتج.

فإذا عرفنا t بأنها الزمن الإجمالي لإنهاء جميع العمليات الإنتاجية فإن المسألة تصاغ

على النحو الآتي:

$$\text{Minimize} \quad z = t$$

S.T.

$$x_j + a_j \leq t$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

9.2 طرق حل البرمجة الخطية للأعداد الصحيحة:

1- طريقة قطع مستوى:

تهتم هذه الطريقة بحل مسائل البرمجة الخطية بواسطة حل المسائل بواسطة الرسم.

مثال:

$$\text{Max. } Z = 7x_1 + 9x_2$$

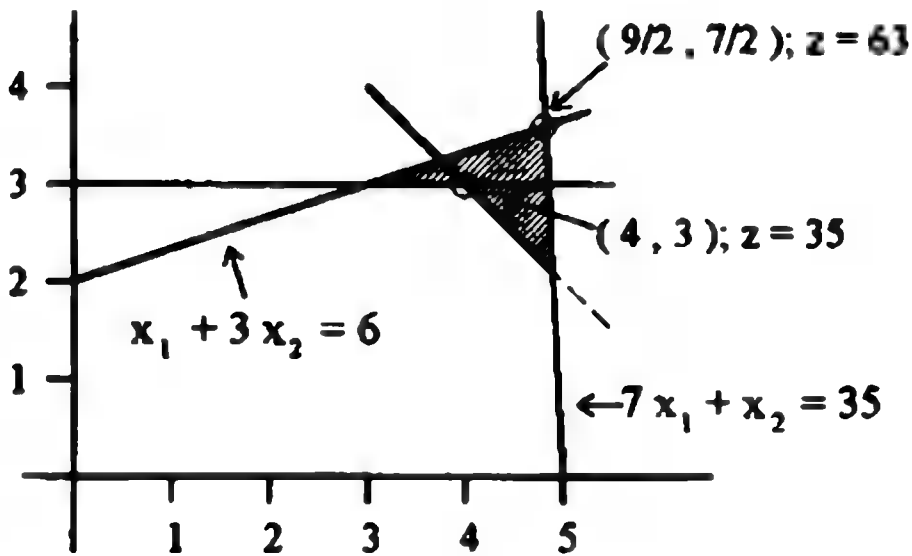
S.T.

$$-x_1 + 3x_2 \leq 6$$

$$7x_1 + x_2 \leq 35$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

وأعداد صحيحة



وإذا بحثنا عن الحل في الزوايا للمساحة المحصورة مع إهمال شرط الحصول على الأعداد الصحيحة فإنه سوف يعطي

$$x_1 = \frac{9}{2} \quad , \quad x_2 = \frac{7}{2} \quad , \quad z = 63$$

ومن الواضح أن هذا الحل يعطي أعداد غير صحيحة.

إن فكرة قطع المستويات تعتمد على تغير الدالة المقعرة للحل إلى حل يعطي أعداد صحيحة والذي سوف يؤثر على المساحة المحدودة لإعطاء الحل بأعداد صحيحة ويعني هذا الاستغناء عن الكسور العشرية ويصبح الحل كما هو موضح بالرسم ويصبح الحل.

$$x_1 = 4 \quad , \quad x_2 = 3 \quad , \quad z = 55$$

أما عن التعبير عن هذه الطريقة بواسطة السمبلكس فسوف نوضحها في المثال التالي:

مثال:

بالإشارة إلى المثال السابق الذي تم حله بواسطة الرسم نلاحظ أن الجدول النهائي (الحل الأمثل) سوف يكون على الصورة التالية:

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | |
|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|---------------|
| z | 0 | 0 | $\frac{28}{11}$ | $\frac{15}{11}$ | 63 |
| x_2 | 0 | 1 | $\frac{7}{22}$ | $\frac{1}{22}$ | $\frac{7}{2}$ |
| x_1 | 1 | 0 | $\frac{-1}{22}$ | $\frac{3}{22}$ | $\frac{9}{2}$ |

بما أن الحل ذو أعداد غير صحيحة.

$$0x_1 + x_2 + \frac{7}{22}x_3 + \frac{1}{22}x_4 = 3\frac{1}{2}$$

$$\left(0 + \frac{7}{22}\right)x_3 + \left(0 + \frac{1}{22}\right)x_4 = \left(3 + \frac{1}{2}\right)$$

$$S_1 = \frac{7}{22}x_3 - \frac{1}{22}x_4 = -\frac{1}{2}$$

بإضافة هذه المعادلة إلى الجدول السابق وفق قواعد قطع المستويات.

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | S_1 | الطرف الأيمن |
|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|-------|----------------|
| z | 0 | 0 | $\frac{28}{11}$ | $\frac{15}{11}$ | 0 | 63 |
| x_2 | 0 | 1 | $\frac{7}{22}$ | $\frac{1}{22}$ | 0 | $3\frac{1}{2}$ |
| x_1 | 1 | 0 | $\frac{-1}{22}$ | $\frac{3}{22}$ | 1 | $4\frac{1}{2}$ |
| S_1 | 1 | 0 | $\frac{-7}{22}$ | $\frac{-1}{22}$ | 1 | $\frac{-1}{2}$ |

السبيلكس الثاني يعطي:

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | S_1 | الحل |
|-------|-------|-------|-------|---------------|-----------------|----------------|
| z | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 63 |
| x_2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| x_1 | 1 | 0 | 0 | $\frac{1}{7}$ | $\frac{-1}{7}$ | $4\frac{4}{7}$ |
| x_3 | 1 | 0 | 0 | $\frac{1}{7}$ | $\frac{-22}{7}$ | $1\frac{4}{7}$ |

مادام الحل مازال غير ذي أعداد صحيحة.

∴ يمكن كتابة المعادلة x_1 على النحو الآتي:

$$x_1 + \left(1 + \frac{1}{7}\right)x_4 + \left(-1 + \frac{6}{7}\right)S_1 = \left(4 + \frac{4}{7}\right)$$

$$S_2 - \frac{1}{7}x_4 - \frac{6}{7}S_1 = -\frac{4}{7}$$

بإضافة هذا القيد إلى آخر جدول نحصل على الآتي:

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | S_1 | S_2 | |
|-------|-------|-------|-------|----------------|-----------------|-------|----------------|
| z | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 0 | 59 |
| x_2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| x_1 | 1 | 0 | 0 | $\frac{1}{7}$ | $-\frac{1}{7}$ | 0 | $4\frac{4}{7}$ |
| x_3 | 1 | 0 | 0 | $\frac{1}{7}$ | $-\frac{22}{7}$ | 0 | $1\frac{4}{7}$ |
| S_2 | 1 | 0 | 0 | $-\frac{1}{7}$ | $-\frac{6}{7}$ | 1 | $-\frac{4}{7}$ |

إن استخدام طريقة السبيلكس الثاني يؤدي إلى الآتي:

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | S_1 | S_2 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| z | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 7 | 35 |
| x_2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| x_1 | 1 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 | 4 |
| x_3 | 0 | 0 | 1 | 0 | -4 | 1 | 1 |
| x_4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | -7 | 4 |

وهذا الجدول يعطي الحل الأمثل للأعداد الصحيحة حيث

$$x_1 = 4$$

$$x_2 = 3$$

$$z = 55$$

9.3 طريقة حل البرمجة الخطية للأعداد الصحيحة بواسطة التوزيع والنظم

(Branch - and - bound Method)

يهتم هذا التكتيك بحل مسائل البرمجة الخطية للأعداد الصحيحة وذلك باعتبار المسألة أولاً ذات حالة البرمجة العاجية ويمكن تلخيص المبدأ العام لهذا التكتيك على النحو الآتي:

أولاً: حل مسألة البرمجة الخطية حلاً عادياً.

ثانياً: لو فرضنا أن x_1 عبارة عن متغير ذو عدد صحيح وأن حله الأمثل () يحتوي على كسر عشري وبالتالي يمكن تحديد المدى الذي يوجد فيه الحل على النهج التالي:

$$[x_1^*] < x_1 < [x_1^*] + 1$$

وبالتالي فإن الحل الأمثل للعدد الصحيح يجب أن يحقق الآتي:

$$x_1 \leq [x_1^*] \quad \text{أو} \quad x_1 \geq [x_1^*] + 1$$

إن المسألة الأساسية هنا تكون في حالة تقسيم إلى مسألتين ولتوضيح الفكرة بصورة سريعة تلجأ إلى المثال العددي التالي:

$$\text{Max.} \quad Z = 2x_1 + 3x_2$$

S.T.

$$5x_1 + 7x_2 \leq 35$$

$$4x_1 + 9x_2 \leq 36$$

وأعداد صحيحة $x_1, x_2, \geq 0$

إن حل المسألة موضح في الشكل 8.1.

9.4 مسائل:

1- اوجد حل المسألة التالية:

$$\text{Max.} \quad Z = 20x_1 + 10x_2 + 10x_3$$

S.T.

$$2x_1 + 20x_2 + 4x_3 \geq 15$$

$$6x_1 + 20x_2 + 4x_3 = 20$$

وأعداد صحيحة $x_1, x_2, x_3 \geq 0$

2- أوجد حل المسألة التالية بطريقة الرسم:

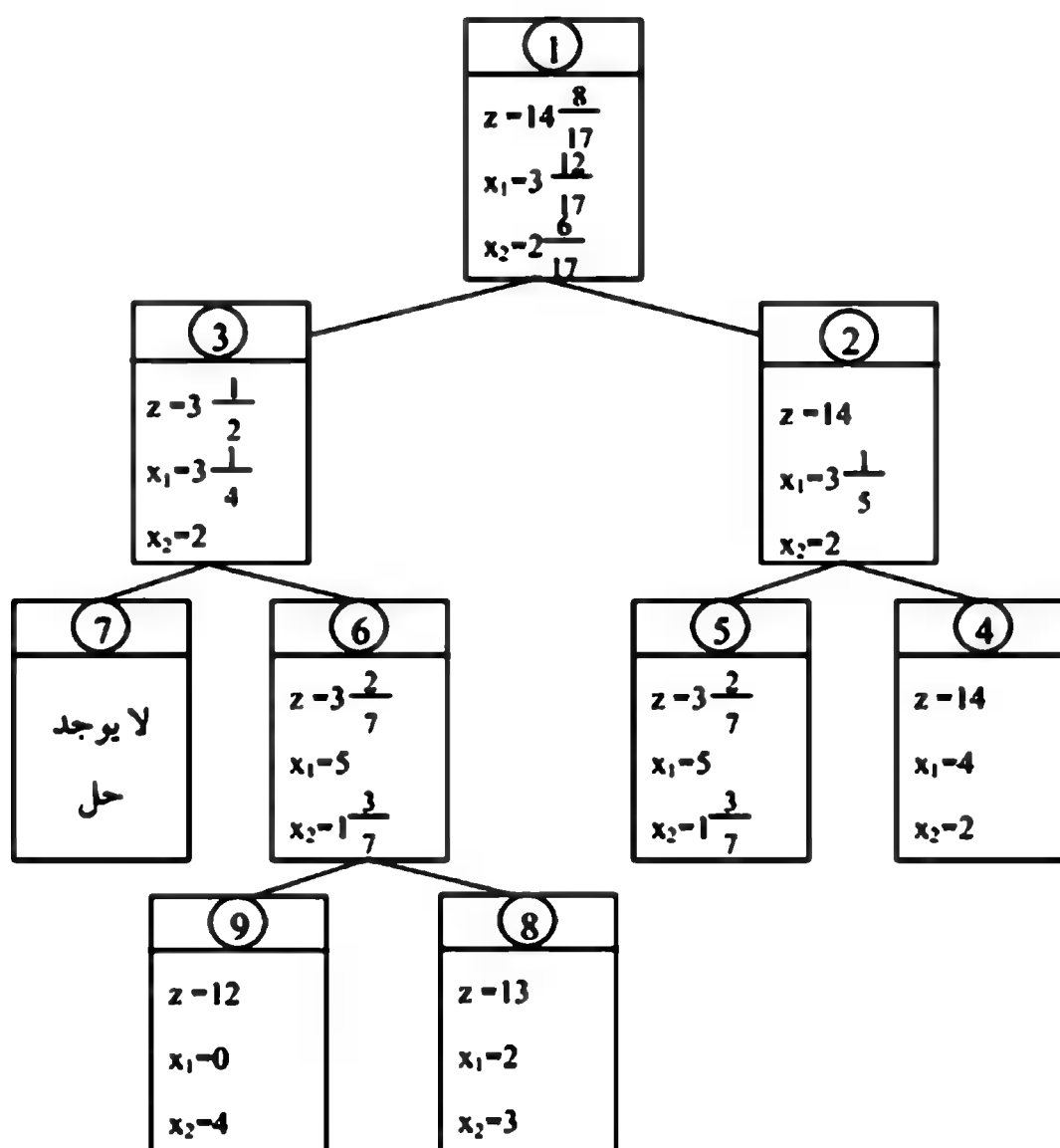
Max. $Z = 2x_1 + x_2$

S.T.

$$10x_1 + 10x_2 \leq 9$$

$$10x_1 + 2x_2 \leq 1$$

وأعداد صحيحة $x_1, x_2, \geq 0$



شكل (9.1)

4- أوجد حل المسألة التالية:

$$\text{Max.} \quad Z = x_1 + x_2$$

S.T.

$$2 x_1 + 5 x_2 \leq 16$$

$$6 x_1 + 5 x_2 \leq 30$$

وأعداد صحيحة $x_1, x_2, \geq 0$

5- إذا فرضنا أن مصنع الجرارات بتاجوراء ينقل 750 جرار من طرابلس إلى بنغازي على شاحنات مع إعطاء المعلومات التالية:

| نوع 2 | نوع 1 | |
|-------|-------|---------------------------------------|
| 100 | 200 | عدد الجرارات في الشحنة الواحدة |
| 2800 | 4800 | كمية الوقود المصروفة على الشحنة / لتر |
| 10 | 25 | حجم الشحنة |

وإذا علمت أن كمية الوقود المتاحة 22.000 لتر والربح المتوقع من الشحنة الواحدة للنوع الأول 2000 د.ل. لكل جرار وللنوع الثاني 1000 د.ل. لكل جرار. أوجد عدد الشاحنات المطلوبة لتعظيم الربح.

6- استخدم طريقة قطع المستويات لحل المسألة التالية:

$$\text{Max.} \quad Z = 15 x_1 + 32 x_2$$

S.T.

$$7 x_1 + 16 x_2 \leq 35$$

$$3 x_1 + 2 x_2 \leq 9$$

وأعداد صحيحة $x_1, x_2, \geq 0$

7- شركة لحفر آبار النفط بمنطقة السريـر حددت موقعين لحفر آبار نفط تضح هذا النفط إلى أربعة مواقع مختلفة على الشاطئ الليبي فإذا علمت بأن تكلفة تجهيز الحفر للآبار i والتي يرغب في ضخها إلى الموقع j .

$$(i = 1, 2)$$

$$(j = 1, 2, 3, 4)$$

معطاة حسب الجدول التالي:

| الموقع | تكلفة النقل إلى مواقع استقبال النفط (د.ل) | | | | تكلفة التجهيز |
|--------|---|---|---|---|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | 2 | 1 | 8 | 5 | 5 |
| 2 | 4 | 6 | 3 | 1 | 6 |

المطلوب: نقل النفط من الآبار إلى المواقع بأقل تكلفة ممكنة.

8- حل المسألة التالية:

$$\text{Max. } Z = 3x_1 + 7x_2$$

S.T.

$$2x_1 + x_2 \leq 2.5$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 6$$

أعداد صحيحة $x_1, x_2, \geq 0$

9- حل المسألة التالية:

$$\text{Max. } Z = x_1 + 2x_2$$

S.T.

$$5x_1 + 7x_2 \leq 21$$

$$-x_1 + 3x_2 \leq 8$$

أعداد صحيحة $x_1, x_2, \geq 0$

10- حل المسألة التالية:

Max. $Z = 21 x_1 + 11 x_2$

S.T.

$$7 x_1 + 4 x_2 \leq 13$$

أعداد صحيحة $x_1, x_2, \geq 0$

الفصل العاشر

تخطيط المشروعات

يعتبر تخطيط المشروعات من العناصر المهمة في تنفيذ المشاريع بأقل تكلفة ممكنة وإن من أولي الطرق لتخطيط المشروعات طريقة (Gantt bar chart). ومع الوقت أفاض الاهتمام الإدارة الهندسية بتخطيط المشروعات واختيار الطرق الدقيقة لتخطيط المشروعات وكيفية التحكم. مثل طريقة ممر الخط التحكمي (المسار أخرج) (Critical path method) (C P M).

10.1 مقدمة:

يعرف المشروع بمجموع النشاطات التي لها علاقة ببعضها بحيث يتم تنفيذها في تسلسل معروف قبل اكتمال المشروع. وهذه النشاطات لها علاقة ببعضها في تسلسل منطقي بحيث لا يمكن أن يبدأ أي نشاط إلا بعد اكتمال النشاط الذي يعتمد عليه.

كما يعرف النشاط في المشروع بأنه العمل اللازم لوقت ومواد خام لتكاملته.

ويعتبر تخطيط المشروعات من العناصر المهمة في تنفيذ المشاريع بأقل تكلفة ممكنة وإن من أولى الطرق لتخطيط المشروعات طريقة (Gantt bar chart) وتتم بتحديد بداية ونهاية زمن أي نشاط في خطوط أفقية بمقياس رسم ومع الوقت الحاضر اهتمت الإدارة الهندسية بتخطيط المشروعات واختيار الطرق الدقيقة لتخطيط المشروعات وكيفية التحكم، مثل طريقة ممر الخط التحكمي (المسار الحرج) (Critical path method) (C P M).

وطريقة معايرة ومراجعة المشاريع (Project Evaluation + Review technique) وهذه الطرق بدأ العمل بها في الفترة (1956-1958) حيث طورت (C P M) بواسطة الباحث E. I du Pont تحت دعم شركة (Mauchly ass) مما أدى إلى تخفيض وقت الأعطال اللازمة لعمل برنامج الصيانة من 78 ساعة إلى 25 ساعة ثم بواسطة تطبيقات على الأعمال الإنشائية بواسطة الباحث (Maushly Associations) إلى طريقة بيرت

(PERT) بالتعاون مع البحرية الأمريكية (إحدى المؤسسات الاستشارية) في تخطيط برامج الصواريخ العابرة للقارات المسمى (بولويس) وقد أدى استخدام هذا الأسلوب إلى تقليل المدة اللازمة لأعمال المشروع بنجاح بمدة عامين.

إن (PERT) و (CPM) طرق تهتم بحساب زمن المشاريع وهما متشابهتان إلى حد كبير في العمليات الرياضية، وتختلف هاتان الطريقتان في حساب الزمن حيث أن الزمن محدد في طريقة (CPM) بينما يعتمد على العمليات الإحصائية في طريقة (PERT).

إن تخطيط المشروعات بطريقة (PERT) و (CPM) يتضمن ثلاث مراحل أساسية

هي:

التخطيط والجدولة والتحكم.

حيث أن مرحلة التخطيط تهتم بتجزئة المشروع إلى عدة نشاطات. ويعبر عن تقدير الزمن لهذه الأنشطة بواسطة أسهم مترابطة تكوّن شبكات تعبر عن التسلسل المنطقي لتنفيذ المشروع.

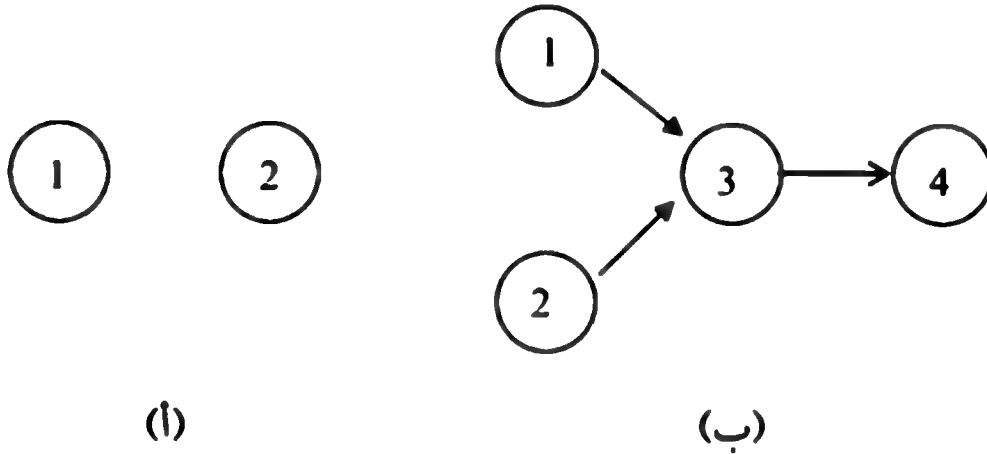
أما هدف الجدولة ونهايته. بالإضافة إلى أن التعبير عن هذه النشاطات يجب أن يوضح عليه الخط التحكمي للأنشطة التي لا تتحمل التأخير في المشروع.

أما المرحلة الثالثة وهي مرحلة التحكم والتي يعبر عنها باستخدام شبكة الإهم التخطيطية لتسلسل الزمن (Time sequence) بحيث أن هذه الشبكة يجب أن تُحدد وتحلل لحساب التغيرات التي تطرأ على المشروع.

10.2 تمثيل الأنشطة بواسطة الأسهم:

إن عملية رسم الأسهم تمثل العلاقة بين تسلسل النشاطات وعلاقتها ببعضها في المشاريع. وبصفة عامة تستخدم الأسهم في التعبير عن النشاطات، حيث أن رأس السهم يمثل نهاية النشاط، حيث أن رأس السهم يمثل نهاية النشاط.

وبداية السهم تمثل بداية النشاط. والشكل رقم (أ - 10.1) يوضح صورة لسهم يمثل نشاط ما (i,j) حيث أن بداية السهم j، أما الشكل (ب - 10.1) فهو يوضح أن النشاط (3,4).

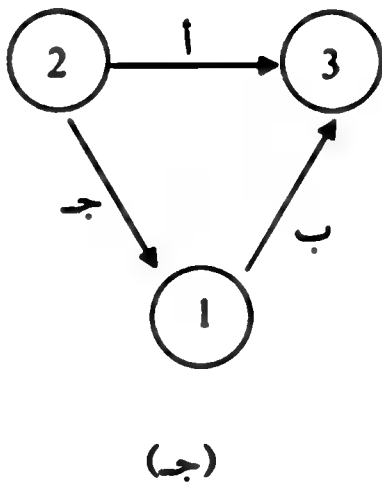
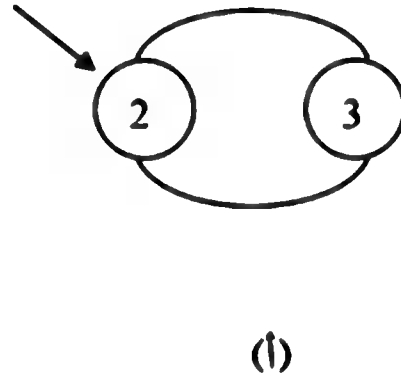
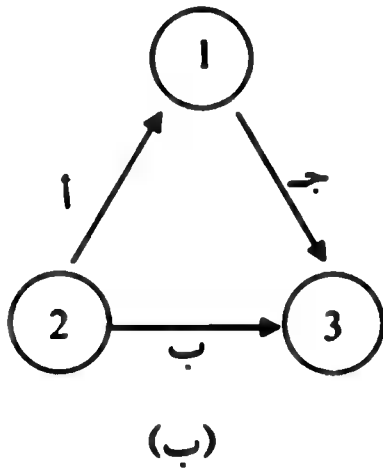


شكل (10.1)

10.3 قواعد استخدام الأسهم في بناء الشبكات التخطيطية:

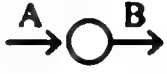
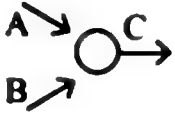
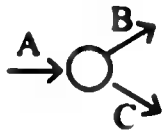
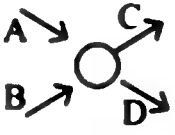
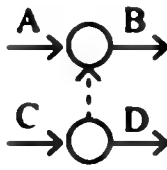
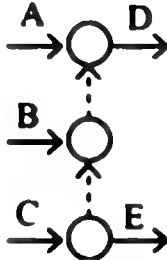
قاعدة (1): كل نشاط يمثل بواسطة سهم واحد فقط في الشبكة التخطيطية، على سبيل المثال وضع ماسورة في الأرض يمثل بواسطة سهم واحد.

قاعدة (2): لا يمكن تمثيل نشاطين من نقطة واحدة كما هو موضح بالشكل (أ - 10.2) ويمكن تمثيل النشاطين من نقطة واحدة بواسطة إضافة نشاط بدون قيمة زمنية كما هو موضح بالشكل (ب - 10.2).

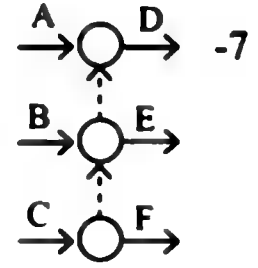


شكل (10.2)

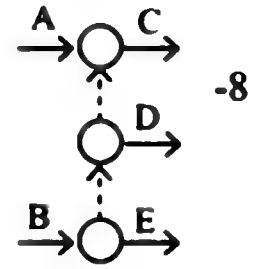
أمثلة حول قواعد الرسم:

- 1-  لا يمكن تنفيذ نشاط B بعد الانتهاء من النشاط A.
- 2-  لا يمكن البدء بتنفيذ النشاط C بعد إتمام النشاط A، B.
- 3-  النشاط A مسيطر على الأنشطة B، C أي لا يمكن البدء بتنفيذ الأنشطة B، C إلا بعد الانتهاء من النشاط A.
- 4-  لا يمكن البدء بتنفيذ النشاط C = D النشاط D مسيطر عليه من قبل النشاط C فقط.
- 5-  النشاط B مسيطر عليه من قبل A، C النشاط D مسيطر عليه من قبل النشاط C فقط.
- 6-  النشاط D مسيطر عليه من قبل A، B بينما النشاط E مسيطر عليه من قبل النشاط B، C.

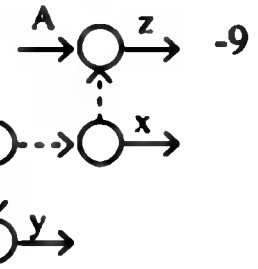
النشاط D مسيطر عليه من قبل A ، B ، C النشاط E مسيطر عليه من قبل B ، C فقط.



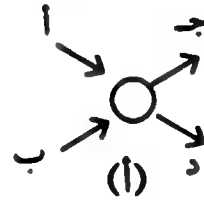
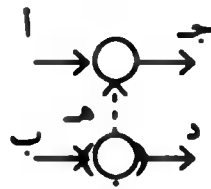
النشاط A يسطر على C ، D ، بينما النشاط B يسطر على D ، E النشاط D مسيطر عليه من قبل كل من A ، B.



النشاط C مسيطر عليه من قبل A ، D النشاط A ، D مسيطر y مسيطر عليه من قبل A ، B ، C النشاط z مسيطر عليه من قبل D فقط.



الشكل (أ - 10.3) يوضح التمثيل الغير صحيح للنشاطات. والشكل (ب - 10.3) يوضح التمثيل الصحيح للنشاطات



شكل (10.3)

قاعدة (3): للتأكد من أن الشبكة التخطيطية لأي مشروع صحيحة يجب أن تجيب الشبكة على الأسئلة التالية:

1- ما هو النشاط الذي يجب أن يكتمل قبل أن يبدأ النشاط الذي يعتمد عليه؟

2- ما هو النشاط الذي يجب أن يتبع النشاط السابق؟

3- ما هو النشاط الذي يجب أن ينفذ في نفس وقت النشاط الحالي؟

الأزمة المختلفة في شبكة PERT،

في شبكة (PERT) توجد ثلاثة من الأزمنة وهي:

1- الزمن التفاؤلي The optimistic time

2- الزمن التشاؤمي The pessimistic time

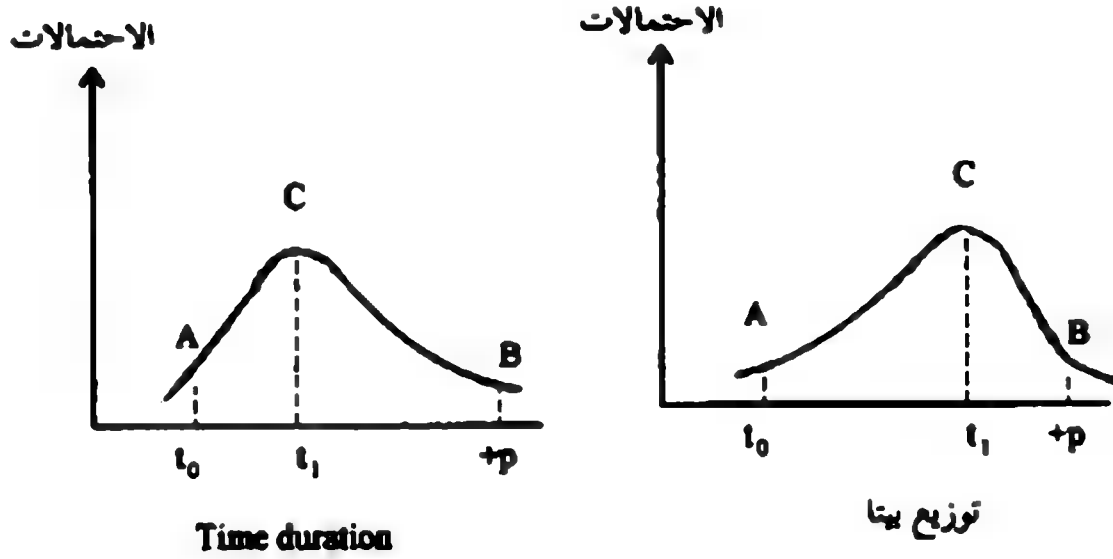
3- الزمن الأكثر احتمالاً The most likely time

الزمن التفاؤلي t_o هو أقصر زمن ممكن لتنفيذ وإتمام أي نشاط تحت ظروف متتالية (الزمن الذي يفترض أفضل الظروف المتوقعة).

الزمن التشاؤمي t_p وهو الزمن الذي يشير إلى التقدير الأكثر تحفظاً في ظل ظروف سيئة (Abnormal conditions).

الزمن الأكثر احتمالاً هو الزمن الممكن والأكثر احتمالاً لتنفيذ وإتمام النشاط في ظل ظروف أو شروط طبيعية (Normal Conditions).

يعتبر توزيع بيتا أكثر الأنماط ملائمة لتحليل شبكة PERT ويوضح الشكل التالي توزيعين لبيتا الأول مائل لليسار (والثاني مائل إلى جهة اليمين).



شكل (10.3)

وقد كان اهتمام مصممي شبكة (PERT) ينصبُّ في إيجاد ذلك النوع من التوزيع الاحتمالي الذي يحقق الحالات التالية:

- 1- التوزيع يجب أن تكون له احتمالية قليلة للوصول إلى أقصى وقت تفاؤلي (أقصر وقت).
- 2- التوزيع يجب أن يكون له احتمالية قليلة للوصول إلى أقصى وقت تشاؤمي (أطول وقت).
- 3- التوزيع يجب أن يكون له وقت واحد فقط وهو الأكثر احتمالاً والذي يستطيع الحركة بحرية بين الطرفين المذكورين في الحالة 1، 2.

إن هذه الشروط أعلاه تلبي متطلبات توزيع بيتا. وبالنسبة لتوزيع بيتا الانحراف

المعياري (Standard deviation) هو $\frac{t_p - t_0}{\sigma^n}$

$\sigma_v = \frac{t_p - t_0}{\sigma^n}$ التباين (Variance)

الوقت المتوقع (Expected time):

الأوقات الثلاثة لتوزيعه بيتا هي t_o ، t_p ، t_i

التباين والانحراف المعياري يمكن حسابه باستعمال t_o ، t_p ومع ذلك من المفترض ربط الأوقات المذكورة في وقت واحد، وعليه لا يمكن الأخذ بالأوقات الثلاثة سوية، بل يجب احتساب متوسط لها. هذا المتوسط يطلق عليه الزمن المتوقع ويرمز له t_E ويعتبر الزمن المتوقع الذي يستغرقه أي نشاط في ضوء التقديرات الزمنية الثلاثة السابقة التي تأخذ الأوزان التالية:

أربعة أوزان للزمن الأكثر احتمالاً.

وزن واحد للزمن التفاؤلي.

وزن واحد للزمن التشاؤمي.

وبذلك تكون معادلة احتساب الزمن المتوقع كالآتي:

$$\text{الزمن المتوقع} = \frac{\text{الزمن التفاؤلي} + 4 \text{ الزمن الأكثر احتمالاً} + \text{الزمن التشاؤمي}}{6}$$

$$(t_E)A = \frac{t_o + 4t_i + t_p}{6} =$$

مثال (10.1):

أحسب الزمن المتوقع لكل من الأنشطة التالية:

| t_o | t_i | t_p | |
|-------|-------|-------|--------|
| 4 | 6 | 11 | نشاط A |
| 5 | 10 | 12 | نشاط B |

الوقت المتوقع للنشاط A

$$(tE)A = \frac{t_o + 4t_i + t_p}{6}$$

$$= \frac{4 + (4 \times 6) + 11}{6} = 6.5 \text{ يوم}$$

الزمن المتوقع للنشاط B

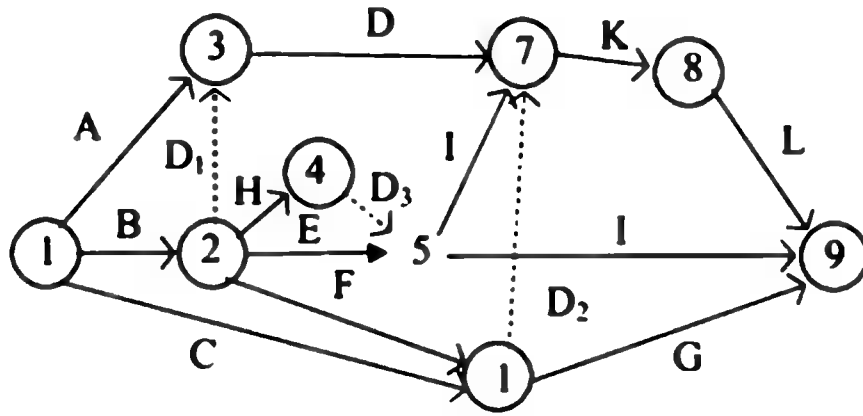
$$(tE)A = \frac{t_o + 4t_i + t_p}{6}$$

$$= \frac{5 + (4 \times 10) + 12}{6} = 9.5 \text{ يوم}$$

مثال 10.2:

ارسم الشبكة التخطيطية التي تحتوي على النشاطات التالية A ، B ، C ، ، L بحيث تحقق العلاقات التالية:

- 1- النشاط A ، B ، C أول نشاطات تبدأ في المشروع في آن واحد.
- 2- لنشاطات A ، B تسبق النشاط D.
- 3- نشاط B يسبق النشاطات E ، F ، H.
- 4- النشاط F ، C يسبق النشاط G.
- 5- النشاطات E ، H يسبقن النشاطات I ، J.
- 6- النشاطات C ، D ، F ، I يسبقن النشاط K.
- 7- النشاط K يسبق النشاط L.
- 8- النشاطات I ، G ، L نهاية المشروع أنياً.



حيث أن الأنشطة D_1 ، D_2 ، D_3 هي أنشطة ذات أزمدة تساوي صفر أنشطة خامدة.

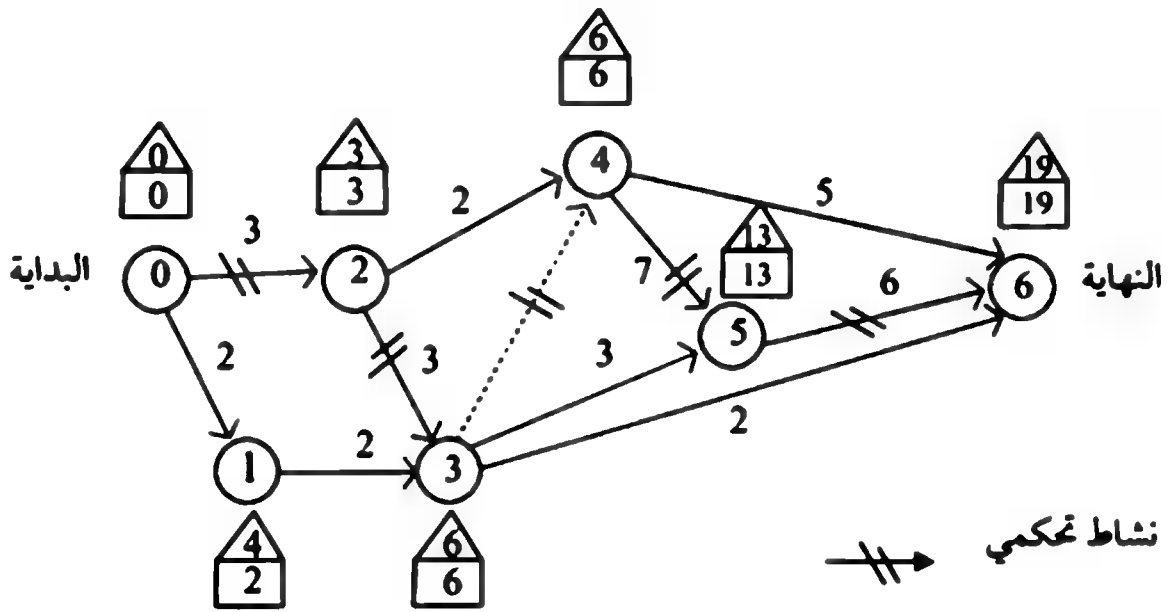
10.4 طرق حساب الخط التحكمي (Critical path calculation):

إن تطبيق (PERT) و (CPM) يؤدي إلى تحديد بداية ونهاية كل نشاط في المشروع في الشبكة التخطيطية.

يسمى النشاط بأنه واقع في الخط التحكمي إذا كان التأخير في بداية تنفيذ سوف يؤثر على تأخير في زمن المشروع بالكامل. أما النشاط الذي لا يقع في الخط التحكمي فهو النشاط التي بدايته أو نهايته إذا تأخرت لا تؤثر في زمن تأخير المشروع إلى حد معين.

ويسمى هذا الحد من الزمن المسموح به لتأخير - الزمن الفائض - (Slack).

لتحديد الخط التحكمي لأي مشروع نستخدم المثال التالي:



إذا فرضنا أن ES_i زمن بداية النشاط

D_{ij} زمن تنفيذ النشاط

زمن بداية النشاط i ونهاية النشاط j .

فإن: $ES_j = \text{Max}_i \{ES_i + D_{ij}\}$

$ES_0 = 0$ عندما تكون

فمثلاً:

$$ES_1 = ES_0 + D_{01}$$

$$= 0 + 2 = 2$$

$$ES_2 = ES_0 + D_{02}$$

$$= 0 + 3 = 3$$

$$ES_3 = \text{Max} [ES_i + D_{i3}]$$

$$i = 1, 2$$

$$= \text{Max} [2 + 2, 3 + 3] = 6$$

$$i = 1, 2$$

وبنفس الطريقة:

$$ES_4 = \text{Max} [ES_i + D_{4i}]$$

$$i = 2, 3$$

$$= \text{Max} [3 + 2, 3 + 3] = 6$$

$$i = 2, 3$$

$$ES_5 = \text{Max} [ES_i + D_{5i}]$$

$$i = 3, 4$$

$$ES_5 = \text{Max} [6 + 3, 6 + 7] = 6$$

$$i = 3, 4$$

$$ES_6 = \text{Max} [ES_i + D_{6i}]$$

$$i = 3, 4, 5$$

$$ES_6 = \text{Max} [2 + 2, 3 + 3] = 6$$

$$i = 3, 4, 5$$

$$= \text{Max} [6 + 2, 6 + 5, 13 + 6] = 19$$

$$i = 3, 4, 5$$

أما الحسابات في الاتجاه المعاكس يتم حسابها بالطريقة التالية:

إذا فرضنا أن LC_1 هو الزمن الأخير لتكملة النشاط.

إذا كان $i = n$ حيث أن نهاية النشاط (n)

$$LC_n = ES_n$$

$$LC_i = \text{Min} [LC_j - D_{ij}]$$

حيث قيمة LC يمكن حسابها بالطريقة التالية:

$$LC_6 = ES_6 = 19$$

$$LC_5 = ES_5 - D_{56} = 19 - 6 = 13$$

$$LC_4 = \text{Min} [LC_i - D_{4i}]$$

$$i = 5, 6$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{Min} [13 - 7, 19 - 5] = 6 \\
 &i = 5, 6 \\
 &LC_3 = \text{Min} [LC_i - D_{3j}] \\
 &j = 4, 5, 6 \\
 &= \text{Min} [6 - 0, 13 - 3, 19 - 2] = 6 \\
 &LC_2 = \text{Min} [LC_i - D_{2j}] \\
 &j = 3, 4 \\
 &= \text{Min} [6 - 3, 6 - 2] = 3 \\
 &LC_1 = LC_3 - D_{13} = 6 - 2 = 4 \\
 &LC_0 = \text{Min} [LC_i - D_{0j}] \\
 &j = 1, 2 \\
 &= \text{Min} [4 - 2, 3 - 3] = 0
 \end{aligned}$$

عليه، يمكن تحديد الخط التحكمي باستخدام القواعد التالية. فمثلاً نشاط (i, j) يقع في الخط التحكمي إذا تحققت الشروط التالية:

$$EC_i = LC_i$$

$$EC_j = LC_j$$

$$ES_j - EC_i = LC_j - LC_i = D_{ij}$$

نلاحظ أن الشروط المذكورة أعلاه لا تسمح بالاتاحية أو الوقت الزائد ما بين LC_i, ES_i .

فلو نظرنا إلى الرسم التخطيطي بالأسهم نلاحظ أن الاتجاه الأول محسوب في مربعات والاتجاه المعاكس محسوب في مثلثات Δ والفرق ما بين Δ هو الزمن الزائد المسموح به في تأخير النشاط في المشروع.

النشاطات (0, 2)، (2, 3)، (3, 4)، (4, 5)، (5, 6) تعرف

$$\bar{D} = \frac{(a + b)/2 + 2m}{3}$$

$$= \frac{a + b + 4m}{6}$$

أما الانحراف المعياري

$$V = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2$$

لمزيد من التفاصيل يمكن الرجوع إلى مرجع في علم الإحصاء.

مثال توضيحي: احسب الخط التحكيمي للنشاطات التالية:

| النشاط | تقديرات الزمن (m, b, a) |
|--------|-------------------------|
| (0,1) | (1,3,2) |
| (0,2) | (2,8,2) |
| (1,3) | (1,3,2) |
| (2,3) | (1,11,1.5) |
| (2,4) | (0.5,7.5,1) |
| (3,5) | (1,7,2.5) |
| (3,6) | (1,3,2) |
| (4,5) | (6,8,7) |
| (3,6) | (1,3,2) |
| (4,5) | (6,8,7) |
| (4,6) | (3,11,4) |
| (5,6) | (4,8,6) |

بتطبيق المعادلات أعلاه نحصل على الجدول التالي:

تعرف الخط التحكيمي وفي نفس الوقت اللازم لتكملة المشروع.
أما النشاطات (2،4) ، (3،5) ، (3،6) ، (4،6) ، فهي بالشرطين الأول والثاني ولكن لا تفي بالشرط الثالث لتحقيق أنها في الخط التحكيمي.

10.5 طرق حساب الزمن الزائد (Determination of the float):

بعد حساب الخط التحكيمي، بأنه حساب الزمن الزائد للنشاطات التي لا تقع في الخط التحكيمي. ومن المعروف أن الأنشطة التي تقع في الخط التحكيمي يجب أن يكون الزمن الزائد يساوي فيها صفراً، وفي الواقع هو السبب الرئيسي التي أهلها بأن تكون في الخط التحكيمي.

وقبل البدء في حساب الزمن الزائد، من الضروري تعريف زمينين مصاحبين للنشاط الواحد.

أ - آخر موعد لبداية النشاط (LS) (Latest Start).

ب - أول زمن لتكملة النشاط (ES) (Earliest Completion).

ويمكن تعريف هذين الزمين لأي نشاط (i, j) بالآتي:

$$LS_{ij} = LC_i - D_{ij}$$

$$ES_{ij} = ES_i + D_{ij}$$

ويوجد نوعان من الأزمنة الزائدة:

أ - مجموعة الزمن الزائد (TF) (Total Float)

ب - الزمن الزائد الحر (FF) (Free Float)

فإن كان مجموع الزمن الزائد (TF) يسمى TF_{ij} والذي يعرف بالفرق ما بين الحد الأقصى لتكملة نشاط. ($ES_i - LC_j$) وزمن النشاط (D_{ij}) أي أن:

$$TF_{ij} = LC_j - ES_i - D_{ij}$$

$$= LS_{ij} - ES_{ij}$$

أما الزمن الزائد الحر (FF) مع افتراض أن النشاطات كلها تبدأ بأسرع طريقة ممكنة فإن الزمن الزائد الحر لنشاط (i, j) يسمى الزيادة المتاحة من الزمن ($ES_i - ES_i =$) أي أن FF:

$$FF_{ij} = ES_i - ES_i - D_{ij}$$

وبالتالي حساب الخط التحكمي مع مجموع الزمن الزائد مع الزمن الزائد الحر تلخص حساباته في الجدول (10.1).

جدول (10-1)

| النشاط (i, j) | الفترة D_{ij} | الزمن المبكر | | الزمن المتأخر | | TF_{ij} | FF_{ij} |
|------------------|--------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-----------|-----------|
| | | البداية ES_i | النهاية ES_{ij} | البداية LS_{ij} | النهاية LC_i | | |
| (0,1) | 2 | 0 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0 |
| (0,2) | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| (1,3) | 2 | 2 | 4 | 4 | 6 | 2 | 2 |
| (2,3) | 3 | 3 | 6 | 3 | 6 | 0 | 0 |
| (2,4) | 2 | 3 | 5 | 4 | 6 | 1 | 1 |
| (3,4) | 0 | 6 | 6 | 6 | 6 | 0 | 0 |
| (3,5) | 3 | 6 | 9 | 10 | 13 | 4 | 4 |
| (3,6) | 2 | 6 | 8 | 17 | 19 | 11 | 11 |
| (4,5) | 7 | 6 | 13 | 6 | 13 | 0 | 0 |
| (4,6) | 5 | 6 | 11 | 14 | 19 | 8 | 8 |
| (5,6) | 6 | 13 | 19 | 13 | 19 | 0 | 0 |

10.6 بناء خرائط الزمن ومستوى المصادر:

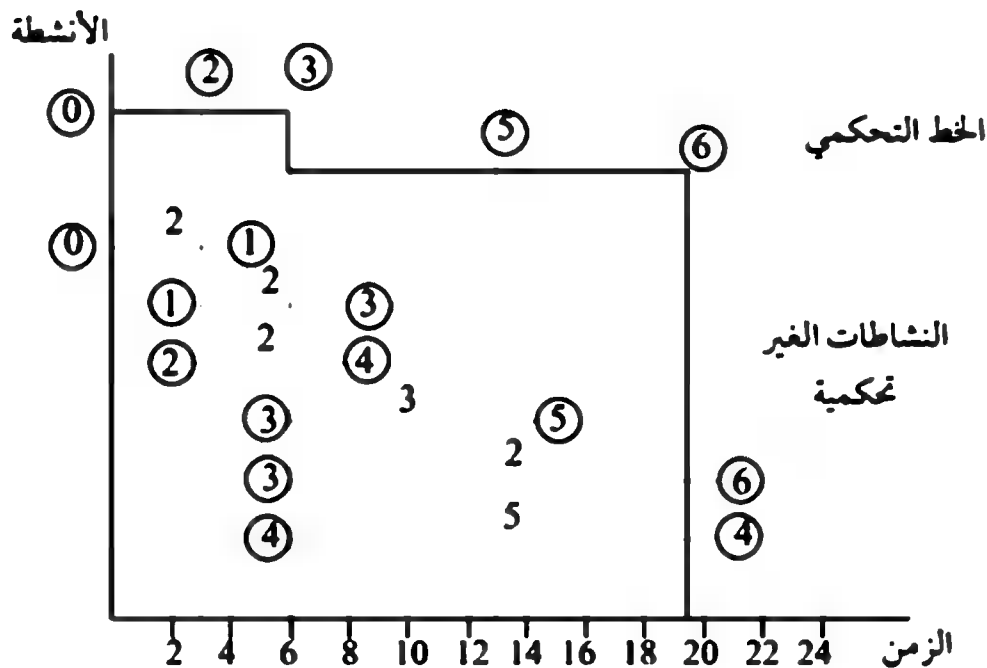
يتم إصدار خرائط الزمن ضمن حدود الموارد المتاحة لأنها تعكس النشاطات الحقيقية للمشروع من خلال الطاقة البشرية والآلات المتاحة.

وبناء عليه فإن مجموع الزمن الزائد (TF) للنشاطات الغير واقعة في الخط التحكمي مفيد.

ولتوضيح كيفية بناء خرائط الزمن تستخدم المثال التالي:

مثال:

بالإشارة إلى المثال السابق بالنظر إلى المخطط شكل (10.4) نلاحظ أن الأنشطة التي تقع في الخط التحكمي خطوطها متصلة.



شكل (10.4)

مثال 10.4:

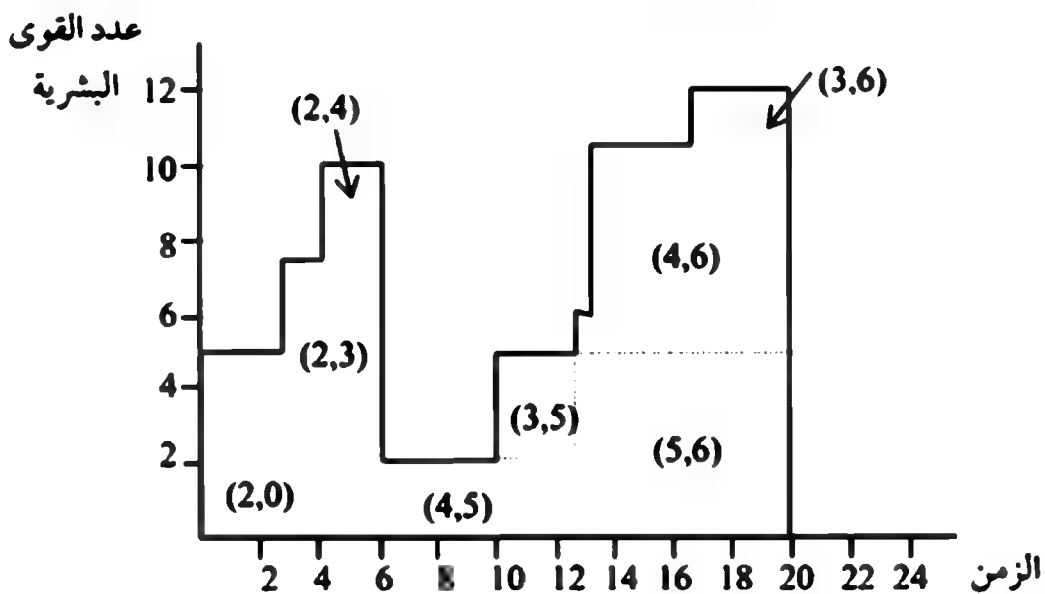
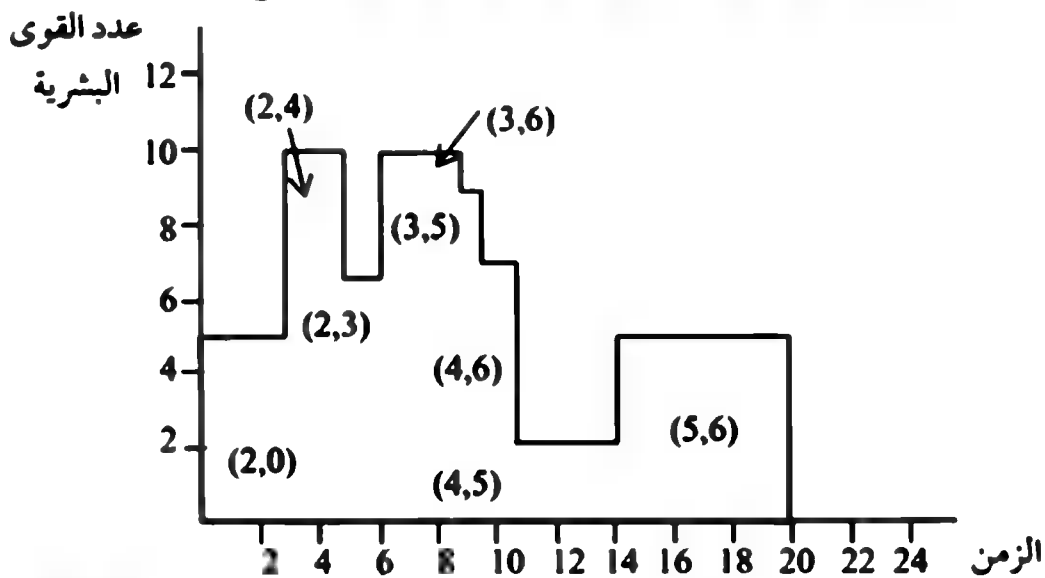
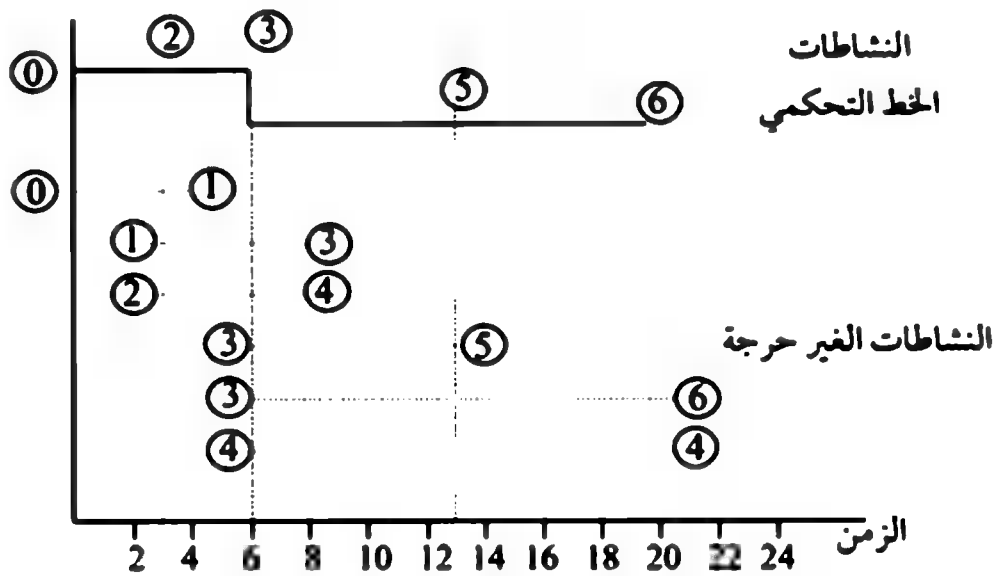
إذا فرضنا أن الطاقة البشرية اللازمة لتنفيذ عدة نشاطات للإنتاج منتج معين. والمطلوب عمل جدول تخطيطي لتوزيع هذه القوى البشرية خلال زمن تنفيذ المشروع. مع ملاحظة أن النشاط (0،1) والنشاط (1،3) لا تحتاج إلى جهد بشري حيث أن قيمتها صفر.

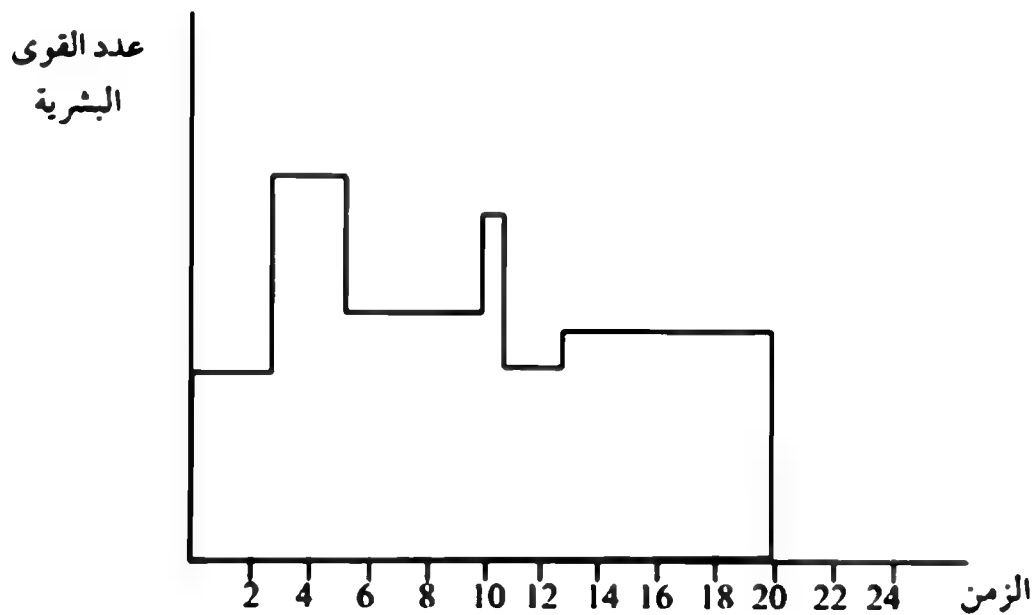
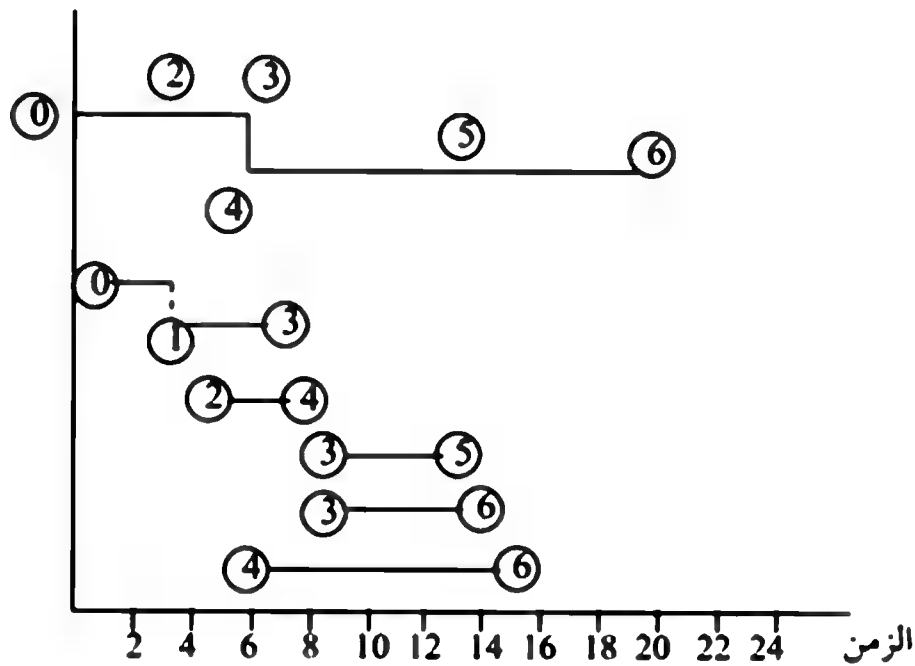
| النشاط | عدد القوى البشرية اللازمة |
|--------|---------------------------|
| 0.1 | 0 |
| 0.2 | 5 |
| 1.3 | 0 |
| 2.3 | 7 |
| 2.4 | 3 |
| 3.5 | 2 |
| 3.6 | 1 |
| 4.5 | 2 |
| 4.6 | 5 |
| 5.6 | 6 |

الشكل (10.5) يوضح القوى البشرية اللازمة خلال الزمن للأنشطة الغير واقعية في الخط التحكمي.

أما الشكل (10.6) يوضح توزيع الأنشطة حسب تخطيطها بشكل متأخر - الخطوط الغير متواصلة توضح الأنشطة الواقعة في الخط التحكمي والتي يجب أن تتحقق إذا كان زمن المشروع قد انتهى.

تلاحظ أن المشروع يحتاج على الأقل 7 رجال لتكملة المشروع. وأن 10 رجال كحد أقصى لتكملة المشروع. وأن أكبر تأخير ممكن يحصل لتنفيذ المشروع هو 12 رجل.



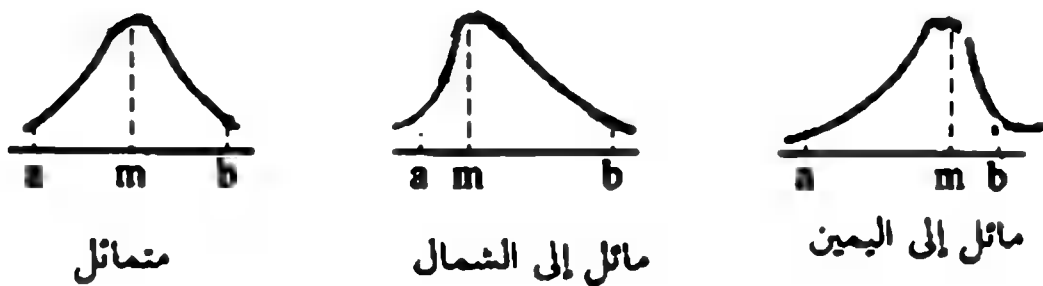


10.7 طرق حساب تخطيط المشروعات بواسطة الإحصاء:

(Probability consideration in project scheduling)

تساهم الإحصاء في تخطيط المشروعات باعتبار تقدير الزمن اللازم للإنجاز أي نشاط باعتباره على احتمالات هي:

a - الزمن التفاولي: وهو أقصى زمن يمكن إنجاز فيه أي نشاط.
 b - الزمن التشاؤمي: وهو أكبر زمن يمكن فيه إنجاز فيه أي نشاط.
 m - الزمن المتوسط: وهو الزمن الطبيعي لإنجاز أي نشاط أو الزمن العادي.
 وباعتبار أن احتمال إنجاز أي نشاط في الفترة m ونظراً لهذه الخواص يمكن تمثيلها بالرسم على النحو الآتي على نموذج التوزيع Beta المعروف.



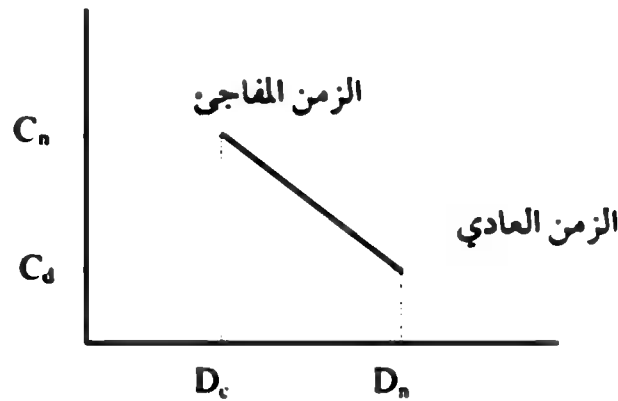
شكل (10.6)

وبالتالي يمكن التعبير عن المتوسط \bar{D}_j والانحراف المعياري V_j لـ توزيع β على النحو الآتي:

| النشاط | \bar{D}_j | V_j |
|--------|-------------|-------|
| (0,1) | 2 | 0.33 |
| (0,2) | 3 | 1.00 |
| (1,3) | 2 | 0.33 |
| (2,3) | 3 | 2.78 |
| (2,4) | 2 | 1.36 |
| (3,5) | 3 | 1.00 |
| (3,6) | 2 | 0.11 |
| (4,5) | 7 | 0.11 |
| (4,6) | 5 | 1.78 |
| (5,6) | 6 | 0.44 |

10.8 إدخال التكلفة في جدولة المشروع:

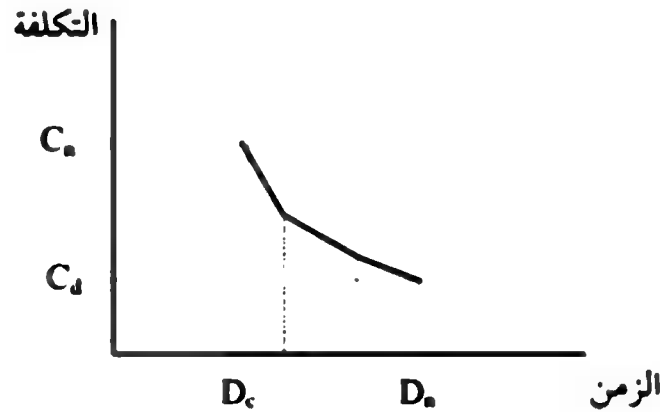
تعرف التكلفة هنا بالتكلفة المباشرة والتكلفة الغير مباشرة. فمثلاً التكلفة الغير مباشرة هي تكاليف إدارية أو إشرافية لتنفيذ النشاط. أما التكلفة المباشرة - هو التكلفة المباشرة اللازمة لتنفيذ النشاط. شكل (10.7) توضح العلامة الخطية بين التكاليف.



شكل (10.7)

حيث أن (D_n, C_n) تمثل الفترة الزمنية D_n مصحوبة بالتكلفة C_n إذا النشاط أنجز في الوقت العادي. ويمكن تقليل الفترة D_n بزيادة التكلفة، ويسمى في هذه الحالة الزمن المقلص، وبالتالي ترتفع التكلفة إلى النقطة (D_n, C_n) .

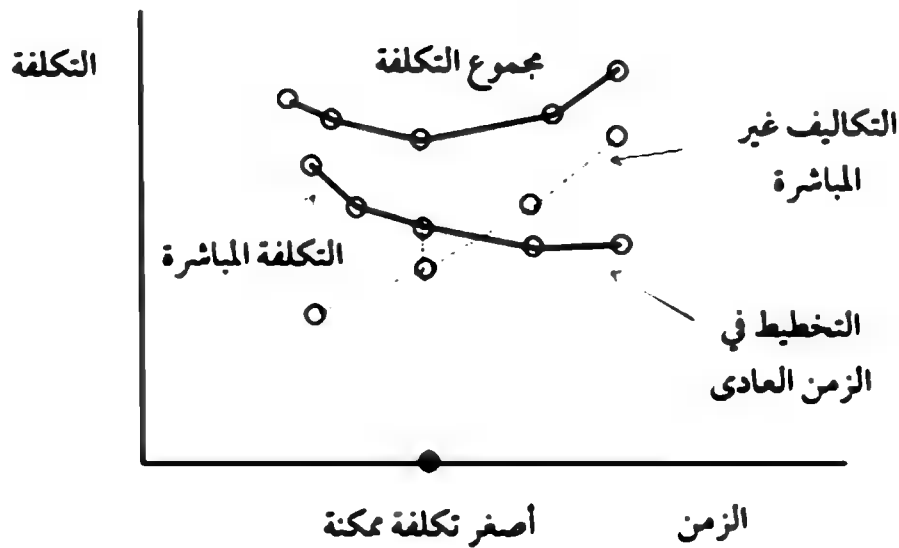
إن علاقة الخط المستقيم يمكن استخدامها وفق المعايير المطلوبة لكل نشاط. ويمكن حساب علاقة غير خطية لحساب الزمن والتكلفة كما هو في شكل (10.8).



شكل (10.8)

وفي هذه الحالة يمكن تقسيم النشاط إلى عدة أجزاء أو عدة نشاطات كل جزء نشاط له خط مستقيم على حدة.

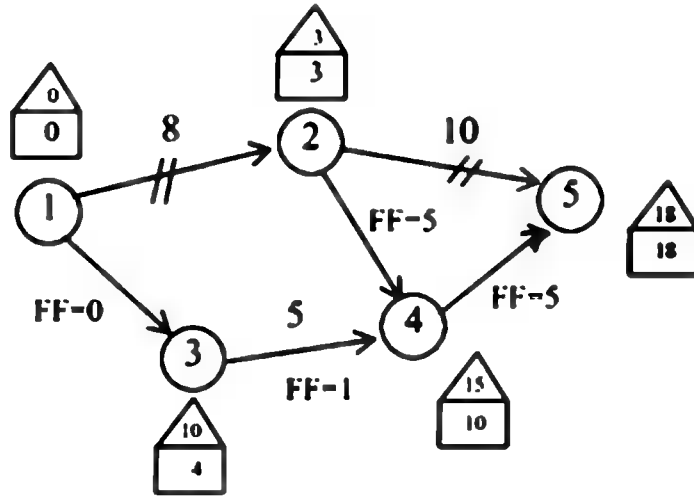
ويمكن تحليل هذه التكاليف من الخبرة العملية على الشكل (10.9).



شكل (10.9)

مثال 10.5:

إذا اعتبرنا الشبكة التخطيطية الموضحة بالشكل (10.10) وأن الزمن العادي والزمن المقلص موضحة بالجدول (10.10) المطلوب حساب أقل أو أصغر تكاليف ممكنة ما بين الزمن العادي والزمن المضغوط.



شكل (10.10)

| الزمن المضغوط | | الزمن المضغوط | | النشاط |
|---------------|---------|---------------|---------|--------|
| الزمن | التكلفة | الزمن | التكلفة | |
| 6 | 200 | 8 | 100 | (1,2) |
| 2 | 350 | 4 | 150 | (1,3) |
| 1 | 90 | 2 | 50 | (2,4) |
| 5 | 400 | 10 | 100 | (2,5) |
| 1 | 220 | 5 | 100 | (3,4) |
| 1 | 100 | 3 | 80 | (4,5) |

يمكن تحليل هذه المسألة اعتماداً على ميل التكلفة - الزمن لمختلف الأنشطة والتي يمكن حسابه بالمعادلة الآتية:

$$\text{الميل (Slope)} = \frac{C_p - C_n}{D_p - D_n}$$

ويمكن تلخيص الميل في الجدول (10.2)

جدول (10-2)

| النشاط | الميل |
|--------|-------|
| (1,2) | 50 |
| (1,3) | 100 |
| (2,4) | 40 |
| (2,5) | 62 |
| (3,4) | 25 |
| (4,5) | 10 |

لبداية الحساب افتراض أن جميع النشاطات تحدث في الزمن العادي. والشبكة الموضحة في الشكل (10.10) تعطي الخط التحكمي تحت الزمن العادي حيث أن مجموع زمن المشروع 18 وتكلفته المصاحبة 580.

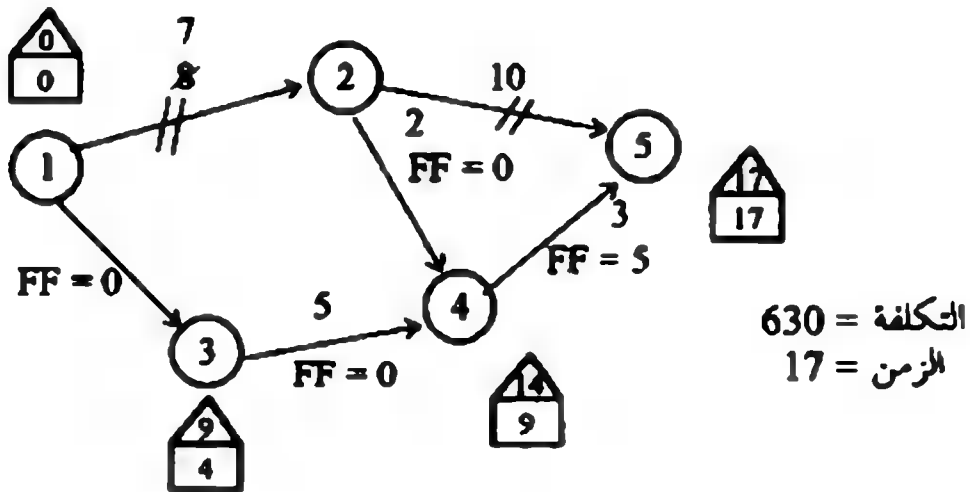
أما الخطوة الثانية التي تسمى تقليل الزمن اللازمة لتكملة المشروع وذلك بضغط زمن النشاطات الواقعة في الخط التحكمي وذلك بأقل ميول ممكن. وبناء على الشبكة الموضحة في الشكل (10.10) يوجد نشاطات فقط الواقعان في الخط التحكمي. ويمكن اختيار النشاط (1,2) لأنه له ميل أقل وفقاً للمنحنى الزمني - التكلفة، ويمكن ضغط هذا النشاط بمقدار وحدتين زمن لحساب FF أولاً نحتاج لتقليل زمن الخط التحكمي. سوف نلاحظ أن هذه النشاطات سوف تقل قيمة FF الموجبة بمقدار وحدة زمن. سوف نلاحظ أن هذه النشاطات سوف تقل قيمة FF الموجبة بمقدار وحدة زمن. وأن أقل FF لجميع النشاطات يحسب فيها FF اللازم.

وبتطبيق هذه القاعدة على الشكل (10.10) فإن FF موضح على النشاطات التي يهملها. فمثلاً النقص في النشاط (1,2) بمقدار وحدة زمن سوف يقلل FF للنشاط

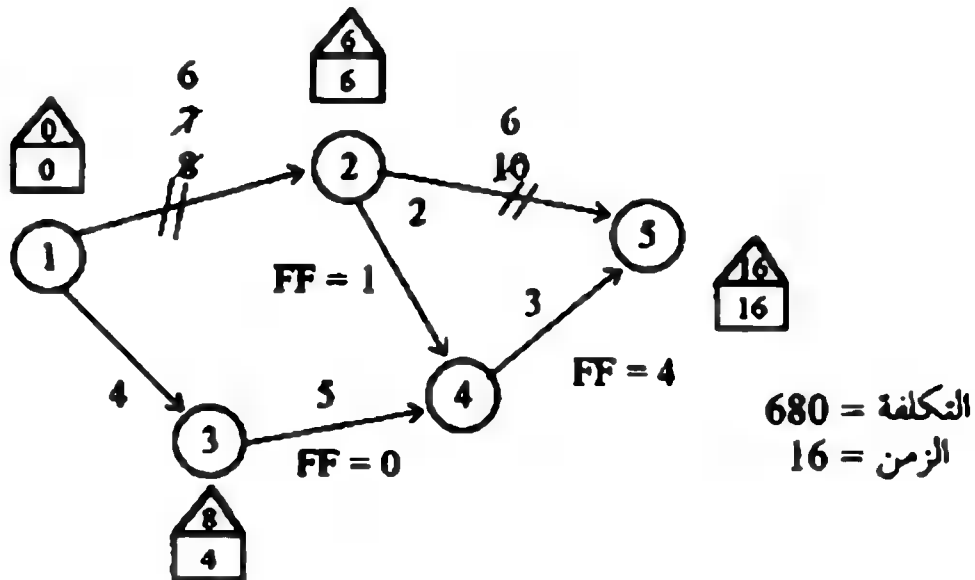
(3,4) من واحد إلى صفر أما FF للنشاط (4,5) سوف يبقى ثابت بمقدار قيمة 5. عليه فإن نهاية أي $FF = 1$.

الشكل (10-10) يوضح قيمة أن زمن المشروع 17 والتكلفة المصاحبة له

$$630 = 580 + (18 - 17) \times 50$$



شكل (10.11)



$$630 + (17 - 16) \times 5 = 680$$

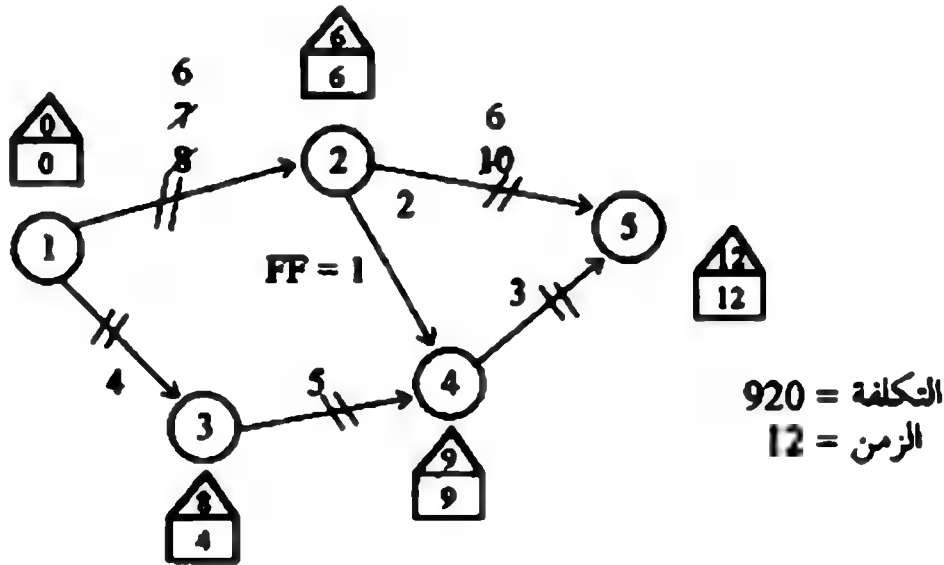
النشاط (2، 1) لا يمكن ضغطه أكثر من ذلك. وبالتالي النشاط (5، 2) يمكن اختياره لضغط زمنه.

نهاية الزمن السريع = 10 - 5

وبما أن FF للنشاط (4، 5) = 4

نهاية ضغط الزمن = القيمة الصغرى (4، 5) = 4

ونتائج الحسابات توضع في الشكل الآتي:



من الرسم يوحد خطين تحكميين هما 1 ← 2 ← 5

و 1 ← 3 ← 4 ← 5

وزمن المشروع 12 وتكلفته تحسب على النحو الآتي:

$$680 + (16-12) \times 60 = 920$$

وبعني ظهور خطين تحكميين إشارة إلى تقليص زمن المشروع بحيث يتم تقليص زمن المشروع عن طريق الخطين آنياً. وأن القاعدة السابقة لاختيار النشاطات الواقعة على الخط التحكمي. فمثلاً الخط التحكمي 1 ← 2 ← 5 النشاط (2، 5) يمكن

ضغطه وحدة زمن واحدة. أما الخط التحكمي $1 \leftarrow 3 \leftarrow 4 \leftarrow 5$ يمكن ضغط النشاط (5,4) وفقاً لصفر ميله بعدد وحدتين زمن.

∴ الزمن الصغير للخطين التحكميين يساوي أقل تقليص ما بين $[2,1] = 1$

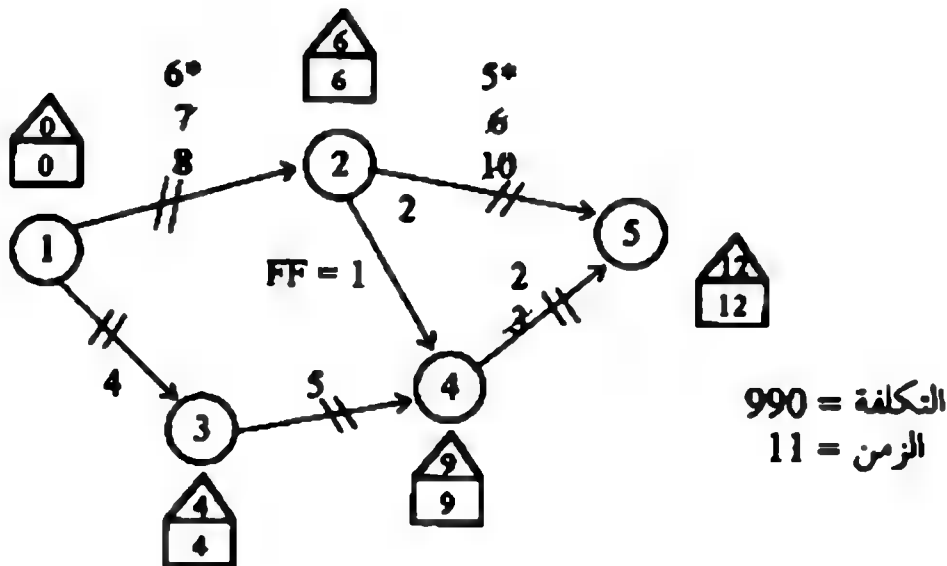
و FF يمكن حسابها من خلال كل خط تحكمي على حدة، وبما أن أقل قيمة زمن يمكن تقليصها هي واحد ولا يتعارض مع FF.

∴ التخطيط النهائي يساوي 11 وتكلفة تنفيذ المشروع يمكن حسابها على النحو الآتي:

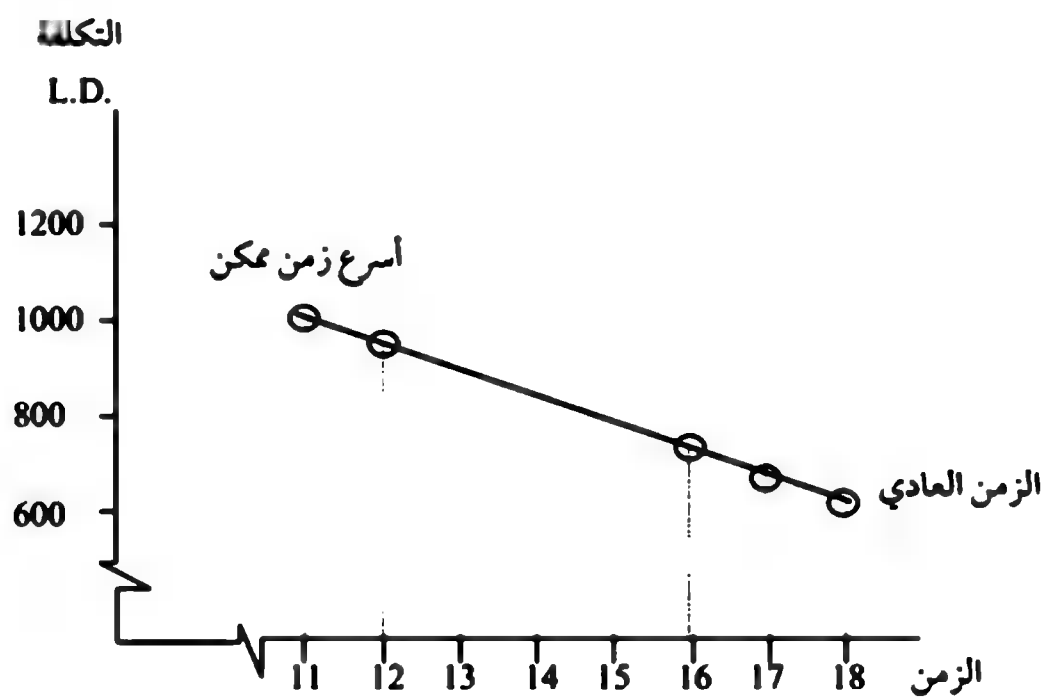
$$920 + (12 - 11) \times (10 + 60) = 990$$

ويبقى الخطان التحكميان ثابتان في الخطوة الأخيرة. وبما أن النشاطات الواقعة في الخط التحكمي $1 \leftarrow 2 \leftarrow 5$ وصلت أسرع وقت ممكن وفقاً للمعطيات.

∴ لا يمكن تقليل زمن المشروع كما هو موضح بالشكل الآتي:



وأن ملخص الحسابات يُعطي بالشكل الآتي:



Some software packages for project management

| Name | Source/Details (for addresses see list at end of chapter) |
|---------------------------|---|
| Project Scheduler | Scitor Corp. |
| SAS System | SAS |
| Project/2 | Project Software & Development |
| Super Project Expert | Computer Associates |
| Artemis | Lucas Management Systems (see also Project Manager Today, Feb. 1992, pp. 42-45) |
| Project Manager Workbench | Hoskins |
| Open Plan | Welcome Software |
| Primavera | Primavera Systems |
| Trackstar | Cosar Project Management |
| Plantrac | Computerline |
| Promis-PMS | (based on Artemis) (see Project Manager Today, Nov./Dec. 1992, pp. 30-33) |
| Project Guide | Deepak Sareen |
| Power Project | Asta |
| Pc Project 3 | (see Project Manager Today, Oct. 1992, pp. 34-36) |

Types and capabilities of computer software packages

| | |
|----------------------|--|
| 1. Simple: | Single-project planning Limited analysis (e.g. no rescheduling) Simple, easy to use and understand |
| Single: | Single-project management (planning, scheduling control, monitoring) Comprehensive analysis (with progress reports, rescheduling, etc.) |
| Multiproject: | Multiproject management (planning, scheduling control, monitoring) Comprehensive analysis and reports Uses common database |

Typical capabilities:

- 1- **Formats (activity on arrow or node)**
- 2- **Bar or Gantt chart displays/outputs**
- 3- **Schedule dates**
- 4- **Updating (e.g. with revised durations, schedule dates, etc.)**
- 5- **Sorting (i.e. listing of activities with dates, by department)**
- 6- **Resource aggregation and allocations**
- 7- **Cost controls and calculations**
- 8- **Calendar dates (i.e. internal calendar used to apply calendar dates to activities)**
- 9- **Reports (i.e. choice of report formats)**
- 10- **PERT calculations**
- 11- **Cost/duration comparisons**
- 12- **"What if?" calculations (e.g. calculate effects of changes in durations, resources, etc.)**

10.9 التحكم في المشروع (Project control):

تبدأ أهمية الشبكة التخطيطية للمشروع أثناء تنفيذ المشروع، وذلك من خلال متابعة تسلسل الأنشطة والحرص على تحقيق الأمانة في مواعيدها خلال عملية التنفيذ. إن تأثير تأخير أي زمن لأي نشاط داخل المشروع سوف يؤثر على الجزء الذي لم يكمل في المشروع بعد.

فمثلاً: عند تنفيذ أي مشروع على مدى الزمن المخصص له، يراعى أن تكتمل الأنشطة في الزمن المخصص لها، وفي حالة التأخير مطلوب إعادة تخطيط وجدولة ما تبقى من تنفيذ المشروع، وهذا ما يقصد بالتحكم في المشروع.

10.10 مسائل:

1- شركة مساهمة تخطط لإنتاج منتج جديد، وترغب الشركة في تخطيط التسويق، وتشمل النشاطات اللازمة للتسويق القائمة الآتية:

| رمز النشاط | وصف النشاط | النشاط السابق | زمن النشاط (أسبوع) |
|------------|--|---------------|--------------------|
| A | الإعداد للمشروع وتحديد الميزانية | - | 1 |
| B | تدريب المنتجين لأداء العمل الخدمي | A | 8 |
| C | تدريب رجال البيع والتسويق | A | 4 |
| D | توزيع المنتج على مراكز التسويق | C | 4 |
| E | إعداد الدعاية بواسطة الإذاعتين المسموعة والمرئية | A | 4 |
| F | التعاقد مع الإذاعتين | E | 1 |
| G | صناعة الأفلام بالإذاعة المرئية | F | 8 |
| H | طباعة البرنامج للدعاية بواسطة المسموعة | F | 4 |
| I | اعتماد البرنامج المرئي من الإدارة | G | 3 |
| J | الدعاية بواسطة الجرائد | A | 2 |
| K | الدعاية لكيفية التعاقد | J | 1 |
| L | إعداد الدعاية بواسطة المطبوعات كمخطوط | K | 4 |
| M | طباعة المخطوط | L | 4 |
| N | توزيع المنتج بالجملة | D | 2 |
| O | توزيع المنتج للموزع الفردي | N | 4 |
| P | الندوات الإعلامية | B,O,I,H,M | 0 |

2- مصنع حقائب اللدائن يحتوي على النشاطات التالية:

| رمز النشاط | وصف النشاط | النشاط السابق | الزمن (دقيقة) |
|------------|-------------------------------------|---------------|---------------|
| A | قطع المادة البلاستيكية بشكل الحقيبة | - | 5 |
| B | تصنيع النموذج الخشبي | - | 15 |
| C | ثقب الفتحات اللازمة | A | 5 |
| D | طبع الصور اللازمة على الحقيبة | A | 2 |
| E | تثبيت البلاستيك على النموذج الخشبي | C , B | 3 |
| F | ربط حوامل الحقيبة | C , B | 2 |
| G | وضع الإشارات الأمنية لحفظ الحقيبة | D , E | 1 |
| H | تعليب الحقيبة للتسويق | F , G | 1 |

- أ - ارسم الشبكة التخطيطية للمشروع.
 ب - أوجد الخط التحكمي للمشروع.
 ج - أوجد FF ، FT لكل نشاط.

3- ضع علامة (✓) أو (*) على المعلومات التالية:

- 1- النشاط الخامد في الشبكة التخطيطية دائماً قيمته صفر ()
- 2- يمكن أن يمثل أكثر من نشاط من خلال دائرتين ()
- 3- الخط التحكمي في المشروع يمثل الحد الأدنى من الزمن اللازم لتكملة المشروع ()
- 4- من الممكن أن يتأخر أي نشاط واقع في الخط التحكمي بدون أن يتأخر المشروع بالكامل ()
- 5- أي شبكة تخطيطية لأي مشروع أكثر من خط تحكمي ()
- 6- يختلف حساب الخط التحكمي بطريقة PERT عنها في CPM ()
- 7- النشاط الغير واقع في الخط التحكمي لا يمكن أن يكون له قيمة صفر لـ TF ()

- 8- النشاط الواقع في الخط التحكمي بشرط أن TF ، FF يساوي صفر ()
 9- من المستحيل أن تزيد زمن أي نشاط بعد قيمته العادية بدون زيادة تكلفته ()
 10- من المستحيل أن تأخر أي نشاط في الخط التحكمي دون أ، تأخر كل المشروع ()

4- المعلومات التالية تعطي نشاطات لبناء مسكن جديد:

| رمز النشاط | وصف النشاط | النشاط السابق | الزمن (يوم) |
|------------|------------------------|---------------|-------------|
| A | تنظيف الموقع | - | 1 |
| B | إحضار الخدمات للموقع | - | 2 |
| C | حفر الموقع | A | 1 |
| D | حفر المجاري الخارجية | B , C | 6 |
| E | أعمال البناء | D | 10 |
| F | الأعمال الكهربائية | F | 3 |
| G | حسب الأرضيات | G | 1 |
| H | صب السقف | F | 1 |
| I | المرافق الأرضية | E , H | 5 |
| J | المظلات الخارجية | I | 2 |
| K | وضع العوازل الخارجية | F, J | 1 |
| L | تركيب النوافذ والأبواب | F | 2 |
| M | أعمال البدورات | L , M | 4 |
| N | وضع العوازل الداخلية | G , J | 2 |
| O | تغطية الجدران والأسقف | O | 2 |
| P | عزل السقف الخارجي | I , P | 1 |
| Q | التشطيب الداخلي | P | 7 |
| R | التشطيب الخارجي | I , N | 7 |
| S | أعمال الحدائق | S | 3 |

- أ- أرسم الشبكة التخطيطية للمشروع.
 ب- احسب الخط التحكمي للمشروع

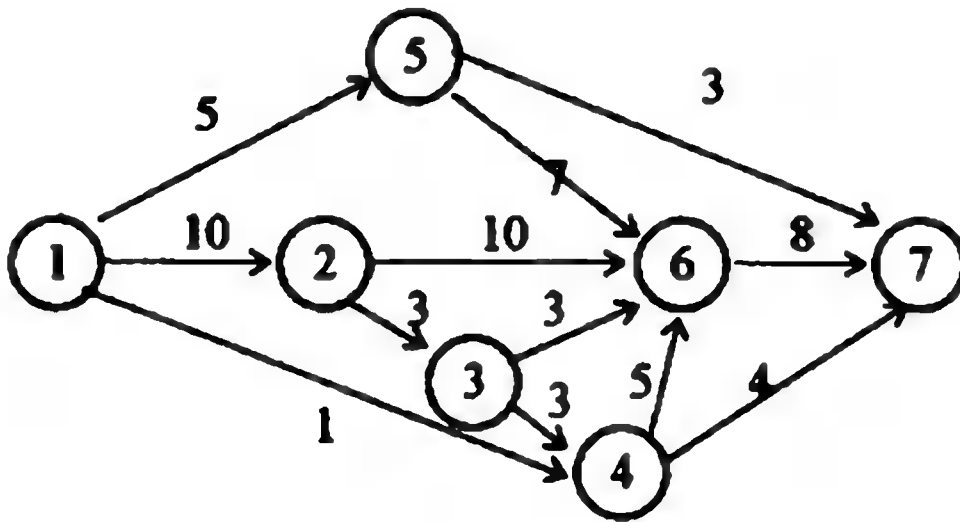
5- ترغب إحدى شركات القطاع العام في تحديد ميزانيته للسنة القادمة. عليه يجب تجميع المعلومات التالية؛ مثال: المبيعات، الإنتاج، الحسابات، والمالية. وكل هذه النشاطات مدرجة حسب أزمتها في الجدول الآتي:

| رمز النشاط | وصف النشاط | النشاط السابق | الزمن (يوم) |
|------------|-----------------------------|---------------|-------------|
| A | حساب تنبؤ المبيعات | - | 10 |
| B | دراسة السوق المنافسة | - | 7 |
| C | تصميم المنتج ومعدات الإنتاج | A | 5 |
| D | إعداد برمجة الإنتاج | C | 3 |
| E | تقدير تكاليف الإنتاج | D | 2 |
| F | إعداد ثمن المبيع | B, E | 1 |
| G | إعداد الميزانية العامة | 14 E, F | |

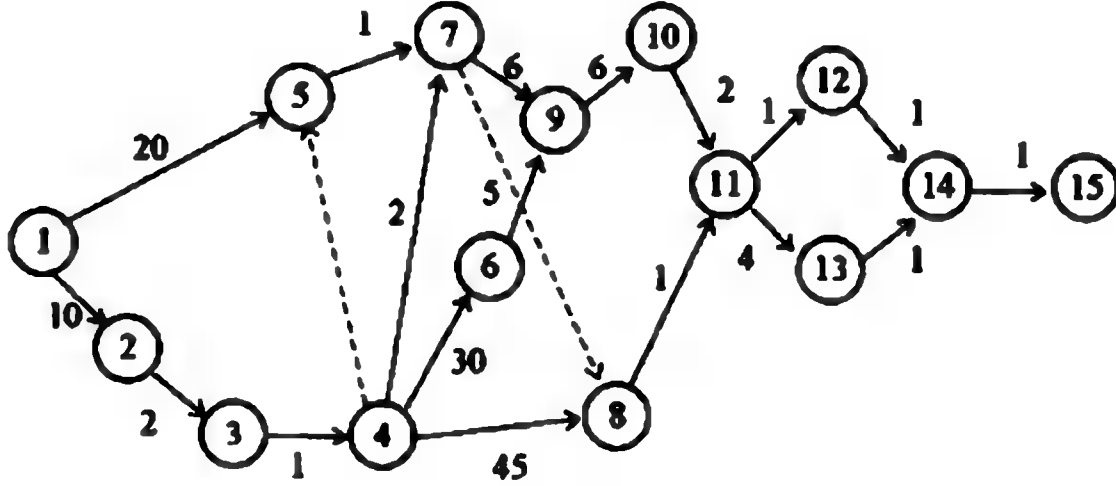
أ- أرسم الشبكة التخطيطية لتنفيذ المشروع.

ب- احسب الخط التحكمي للمشروع

6- احسب الخط التحكمي للشبكة التخطيطية الآتية:



7- أحسب الخط الحرج للشبكة التخطيطية الآتية:

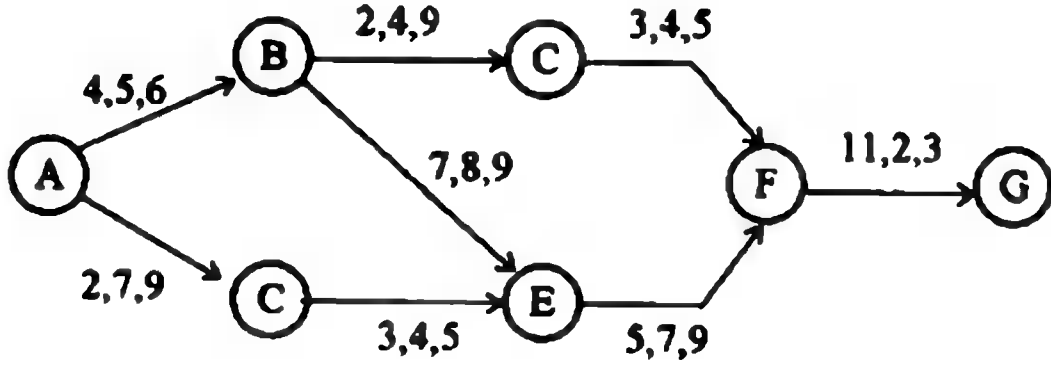


8- مشروع يحتوي على تسعة نشاطات، إذا علمت بأن الزمن التفائلي، والزمن المتوسط والزمن التشائي وأسبقيات رغبات النشاطات على النحو الآتي:

| رمز النشاط | الأزمنة | | | أسبقية الأنشطة |
|------------|---------|---|---|----------------|
| A | 1 | 3 | 4 | - |
| B | 2 | 4 | 1 | - |
| C | 1/2 | 2 | 1 | A |
| D | 2 | 5 | 1 | A |
| E | 1 | 6 | 3 | B, C |
| F | 1 | 2 | 7 | D, E |
| G | 3 | 4 | 9 | D, E |
| H | 2 | 3 | 5 | F |
| I | 4 | 5 | 8 | G |

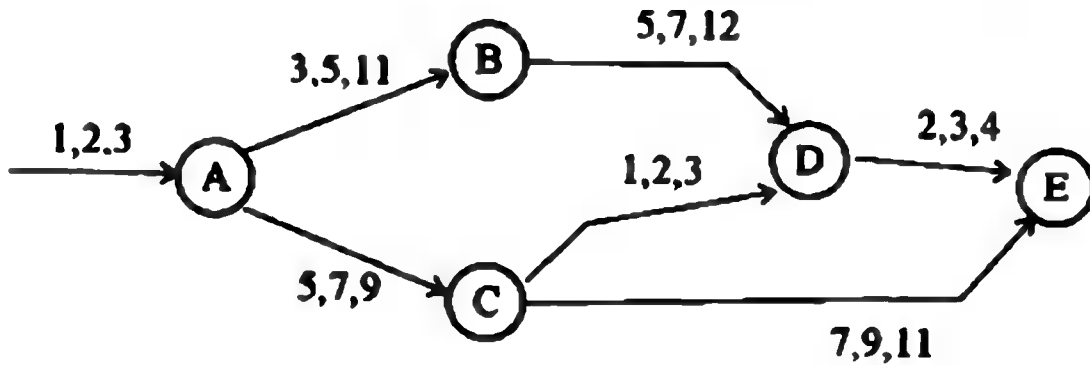
احسب الخط التحكمي للمشروع.

9- إذا أعطيت الشبكة التخطيطية للمشروع الآتي:



- أ- أرسم الخط التحكمي للمشروع.
- ب- احسب الانحراف المعياري لكل نشاط.

10- إذا أعطيت الشبكة التخطيطية للمشروع الآتي:



- أ- ما هو ES_i للمشروع؟
- ب- ما هو الخط التحكمي للمشروع؟
- ج- ما هو الانحراف المعياري للخط التحكمي؟
- د- ما هو الاحتمال الذي يسمح لاستكمال المشروع في 20 أسبوعاً؟

11- أجب عن الأسئلة النظرية التالية:

- أ - عرف: النشاط الوهمي
النشاط السابق
النشاط اللاحق
النشاط المتوازي.
- ب- عرف: المشروع
الخط التحكمي
الزمن التفاضلي
الزمن التثانمي.
- ج- عرف: الوقت المبكر لحدث النشاط
الوقت المتأخر للحدث.
- د- لماذا تزيد تكلفة النشاط إذا تم التعجيل في تنفيذه؟

منتدى سور الأزبكية

WWW.BOOKS4ALL.NET

<https://twitter.com/SourAlAzbakya>

<https://www.facebook.com/books4all.net>

11.1 مقدمة:

تعني بنظام التحكم بالتخزين (أو الرقابة المخزنية) الوسيلة التي يمكن بها تدبير كميات المواد المناسبة وفقاً للمواصفات المعينة في الوقت المناسب والمكان المناسب بأقل تكلفة ممكنة. ومن هذا المفهوم يتضح لنا أن نظام التحكم بالتخزين (Inventory control) ليس مجرد ملاحظة التخزين كمياً ونوعاً، وإنما هو نظام متقدم تُستخدم فيه معادلات رياضية وطرق إحصائية وأدوات متعددة.

11.2 المجالات التي يشغلها نظام التحكم بالتخزين:

يُستخدم النظام في عدة مجالات، في مقدمتها:

- 1- المواد التي تم التعاقد على شرائها من مناشئ داخلية أو خارجية.
- 2- المواد التي تسليمها إلى المخازن فعلاً والتي دخلت في قوائم المخازن.
- 3- المواد التي تم صرفها من المخازن إلى طالبيتها بناءً على أوامر صرف معتمدة ولا يشترط بهذه المواد أن يكون ثمنها مدفوعاً مقدماً.
- 4- المواد الموجودة فعلاً في المخازن في متناول اليد.
- 5- المواد المحتجزة لعمليات معينة والمواد التي تم التعاقد على صرفها من المخازن ولم تصرف بعد ولكنها تنتظر أوامر من المشتري لنقلها من المخازن إلى المكان الذي يرغب المشتري.

- 6- المواد التي سهل الدخول عليها بسهولة ويسر من الموردين عند الحاجة إليها والتي يعتبرها مسؤول المخزن موجودة فعلاً في المخازن.
- 7- كافة المواد التي تم استرجاعها إلى المخازن أو المواد التي تنتظر دورها لدخول المخازن، وتشمل هذه المواد كل ما موجود بالجهاز ومراكز الفحص والاستلام ... الخ.

11.3 أهداف نظام التحكم بالتخزين (Objectives of the system):

يمكن تلخيص هذه الأهداف كما يلي:

- 1- حساب الحجم الأمثل لكمية المخزون، وعدد دفعات الشراء، وفترات التوريد، وشراء الاحتياجات ذات الاستهلاك المتغير، ومعدل التخزين، ومتوسط التخزين، واحتياطي الطوارئ، ورصيد الأمان الخ.
- 2- التأكد من أن الإنتاج لا يتأثر أو يتغير أو يتوقف بسبب نقص في المواد أو الأخيرة أو قطع الغيار.
- 3- التأكد من وجود كميات كافية من المواد المخزونة لمواجهة الطلب غير الطبيعي عليها، مثل ازدياد الطلب على مادة ما فجأة، أو حدوث حالات طارئة تستوجب مواد وأخيرة ومعدات فورية وبكميات كافية لسد الحاجة، لم يكن مخططاً لها مسبقاً.

11.4 شروط نجاح التحكم بالتخزين (Prerequisites of the system):

- لابد من توفر شروط أساسية لتطبيق نظام التحكم بالتخزين بشكل فاعل وكفء.
- ومن بين أهم هذه الشروط ما يلي:
- 1- ضرورة اختيار الأنظمة لترميز المواد.
 - 2- ضرورة وضع قواعد خاصة لاختيار أصناف المواد (كتصنيفها حسب أهميتها الاستهلاكية فعلاً).

- 3- تحديد طريقة سحب المواد (Lifo, Fifo) مع الأخذ بنظر الاعتبار:
 - أ - طبيعة المادة.
 - ب - حالة المادة عند الاستلام ومستوى نوعيتها.
 - 4- تحديد مستويات التخزين التي تلائم نظام التحكم بالتخزين، والذي يتم اختياره (كالحد الأدنى، الحد الأعلى، مستويات إعادة الطلب ... الخ).
 - 5- تحديد الإجراءات البديلة اتخاذها في حالات نفاذ خزين أي من المواد لئلا يكون هناك تأخير ملحوظ عن سير العمل.
- بعد القيام بالخطوات سابقة الذكر يمكن عندئذ من:
- أ - قياس المستوى الحقيقي لكل مادة من المواد.
 - ب - مقارنة المستوى الفعلي مع المستويات المخططة مسبقاً لأغراض الرقابة (التحكم).
 - ج - اتخاذ الإجراءات اللازمة لتصحيح الانحراف.
 - د - القيام بعملية المتابعة عند الحاجة.

11.5 دور وأهمية التحكم في التخزين

(Role & Importance of the system)

إن عملية التخزين في القطاعات الصناعية والإنتاجية خصوصاً لها أهمية حاسمة بالنسبة لنجاح هذه القطاعات وسير العمل المنتظم والمنسق فيها، فالاحتفاظ بمخزون أكبر مما يجب يعني وجود رأسمال معطل كان من الممكن استخدامه في نشاطات أخرى مربحة ومفيدة، للمؤسسة أو القطاع برمته، إلا أنه من جهة أخرى، فإن نقص المخزون عند الحد المناسب يعني احتمالات تعطل العملية الإنتاجية والفشل بالوفاء باحتياجات المستهلكين أو المتفعين (في حالة توقف مصفي ما عن العمل مثلاً بسبب نقص في المواد والمعدات)، واحتمال دفع أثمان عالية عند الشراء العاجل أو بكميات صغيرة نسبياً - عندما يقصر المخزون عن الوفاء بمتطلبات الإنتاج - كذا زيادة تكاليف النقل.

ويعتبر التخزين من العوامل المؤثرة على الكفايات الإنتاجية. فالمخزون السلعي يعدّ أهم بند من بنود الأصول المتداولة بالنسبة للمؤسسات الصناعية، وأكثرها خطورة على المركز المالي، وتأتي أهمية مشكلة المواد أساساً، من عمق الآثار المترتبة على القرارات المتعلقة بشراء المواد وتخزينها. فالمواد عنصر مهم من عناصر رأس المال العامل، واستخدامها الاقتصادي يعني كفاءة استخدام المواد المتاحة، كما أنها في الوقت ذاته أهم (مدخل) من مدخلات العملية الإنتاجية، ووجود (نظام فعال لإدارتها) في مراحل حياتها - من طلب فشاء، وفحص واستلام، فتخزين وصرف، واستخدام - له ولاشك تأثير بالغ على فاعلية وكفاءة النظام الإنتاجي بوجه خاص، بل وعلى كفاءة المؤسسة الإنتاجية لكلها بوجه عام.

فالقطاع النفطي، مثلاً، من الحيوية والحساسية بمكان الأمر الذي يتطلب من المسؤولين التأكد من كفاءة أحد شرايينه الحيوية وهو (الخزين).

فكل شيء يعتمد على مدى توفر المواد الداخلية في العملية الإنتاجية (التكرير مثلاً) بالإضافة إلى نوع وكمية هذه المواد. والأهم من ذلك كله سرعة توفر هذه المواد في حالة الحاجة إليها.

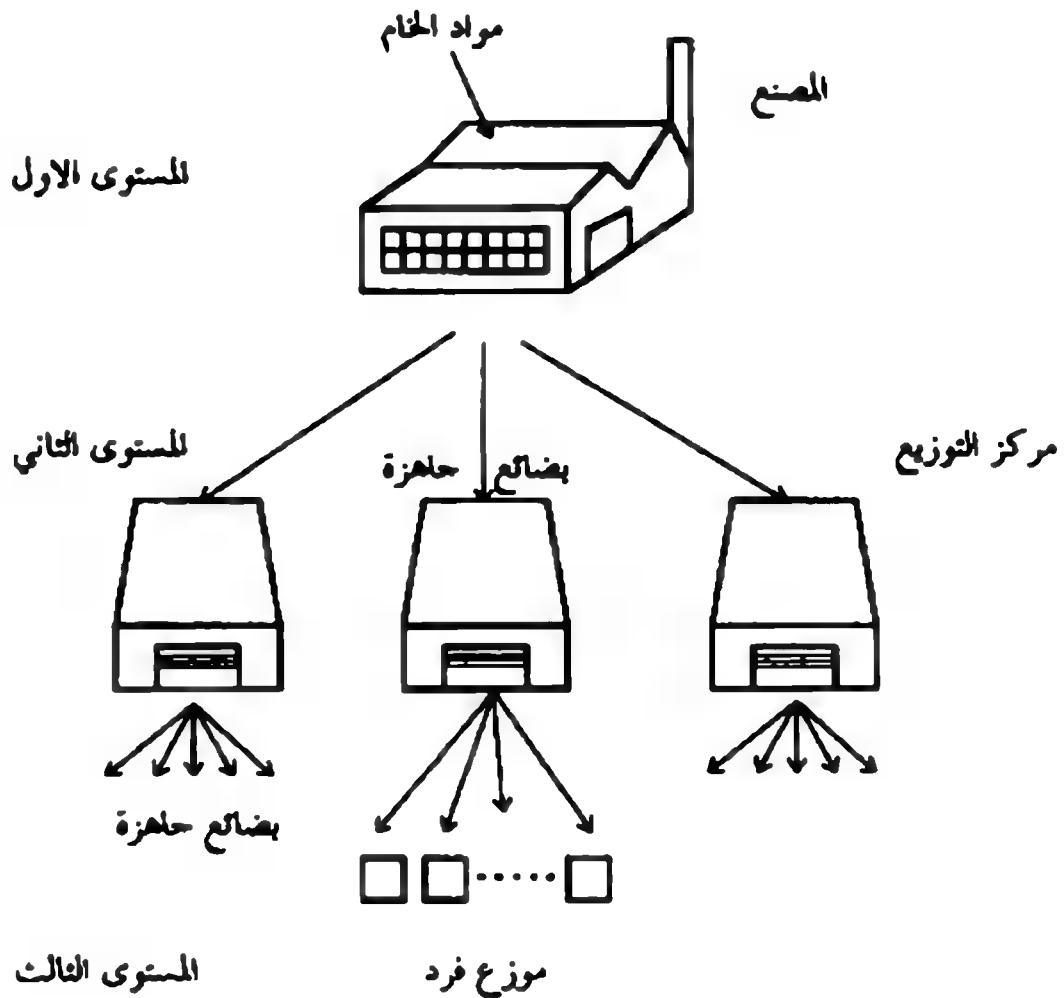
وإذا ما أخذنا دور التخزين في عملية الحماية من التوقف الإنتاجي، فإننا نجد دوره يتركز في الآتي:

- 1- يقوم التخزين بتوفير مستلزمات الصيانة وتصليح وسال الإنتاج وقطع الغيار والأدوات الاحتياطية.
- 2- يقوم التخزين بتموين خطوط الإنتاج وإدارات الخدمات بحاجتها من المواد الأولية ونصف المصنعة وخلافها والخاصة بعمليات الإنتاج واحتياجات الإدارة المساعدة مثل التغليف والتجهيز.
- 3- تقوم إدارة المخازن باستقبال المواد الواردة إلى المخازن وفحصها وضمان جودتها

قبل القيام بعملية تخزينها وتصنيفها وتبويبها وترميزها وذلك منعاً من استلام أصناف تالفة أو قابلة للتلف تؤثر على الإنتاج وتزيد التكاليف.

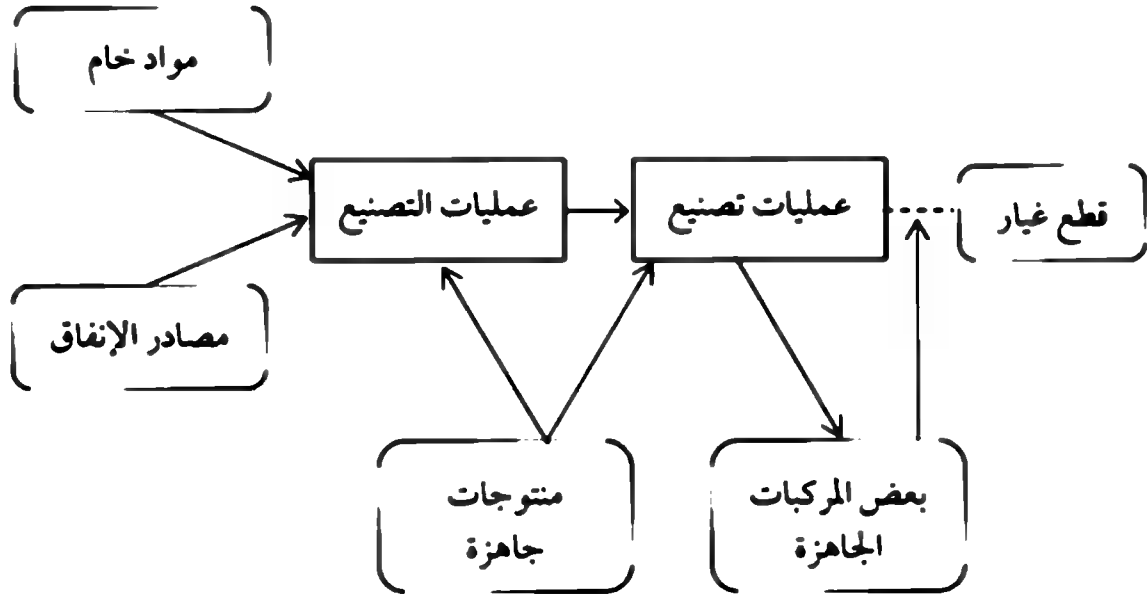
11.6 هيكلية نظام التخزين (Structure of Inventory System)

يتكون هذا النظام من جزئين رئيسيين هما: توزيع البضائع وتصنيع البضائع. والشكل رقم (11.1) يوضح مخططاً لمسارات ومواقع نظام التخزين.



شكل (11.1) نظام التوزيع في المخزون

وأحياناً يمكن أن يحتاج إلى نظام التخزين حتى في المراحل الداخلية للتصنيع كما هو موضح في الشكل (11.2).



شكل (11.2) نظام التخزين في منتصف المصنع

11.7 النموذج العام لنظام التخزين (Inventory System Model)

إن الهدف الأساسي لنموذج نظام التخزين للإجابة على سؤالين هما:

1- كم هي كمية الطلبية الواحدة؟

2- متى يتم الأمر لهذه الطلبية؟

للإجابة على السؤال الأول هو تحديد كمية الطلبية المناسبة والتي تحقق بالأحرى نظام التخزين (Optimum order) أما الرد على السؤال الثاني والذي يعتمد على نوع نظام التخزين - هل أن نظام التخزين يعتمد على نظام الفترة الثابتة - أو الكلمة الثابتة.

ويقصد بنظام الفترة الثانية (كل يوم - أسبوع - شهر - سنة ... الخ) أو الكمية الثانية التي (10 - 100 - 1000 ...؟) عند تخلص يكون الطلب جاهز. وعليه يمكن تصنيف هذه الأنظمة على النحو الآتي:

1- نظام الفترة الثابتة (Periodic review case): ويعبر عنه باستقبال طلبية ثابتة عند نهاية كل فترة محددة.

2- نظام الكمية الثابتة (Continuous review case): ويعبر عنه بإضافة كمية ثابتة عندما يصل مستوى المخزون في كمية ثابتة وتسمى هذه النقطة بكمية إعادة الطلبية (Reorder point) وكمية الطلبية تسمى بالطلبية المراد بها (Order quantity).

ومن خلال تحديد نقطة إعادة الطلبية وكمية الطلبية المطلوبة يمكن حساب تصغير التكلفة العامة لنموذج التخزين والذي يمكن تعريفه على النحو الآتي:

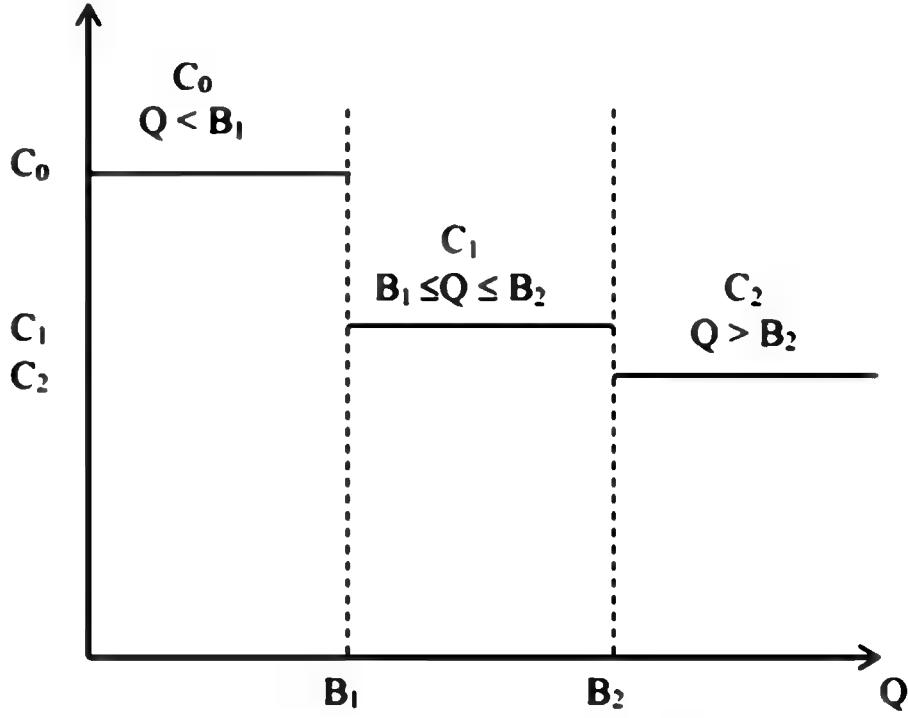
مجموع تكلفة نظام التخزين = (تكلفة شراء المتوجات) + (تكلفة إعداد الطلبية) + (تكلفة حفظ الطلبية) + (تكلفة عدم توفر الطلبية).

11.7.1 تكلفة المنتج الواحد Unit cost of product:

يعبر عن تكلفة المنتج الواحد بثمن الشراء والتي يعتمد على كمية المتوجات حيث:

$$C = F(Q)$$

C ثمن الشراء دالة في كمية المتوجات المخزون Q. وكلما زادت Q قلت C (ثمن المنتج الواحد) كما هو موضح بالشكل (11.3).



شكل (11.3) يوضح العلاقة Q & C

11.7.2 تكلفة حفظ المخزون (Inventory holding cost (H)

تشمل تكلفة حفظ المخزون - تكلفة المخزون - التأمين على البضائع والمنتجات - ثمن المواد المسكرة أو تالفة - الضرائب على متوسط المخزون بالإضافة إلى نقل المواد. ويعتمد (H) على حجم المخزون.

11.7.3 تكلفة إمداد الطلبية (Replenishment cost (S)

يشمل تكلفة إمداد الطلبية: الرسوم الثابتة - اختبار المنتجات - فحصها - إمداد الطلبية - ترتيبات العاملين في الإعداد مباشرة وغير مباشرة - الهواتف - البريد المصور - التخليص الجمركي - إجراءات الاعتمادات.

11.7.4 تكلفة فقدان المخزون (II) Stock out or shortage cost

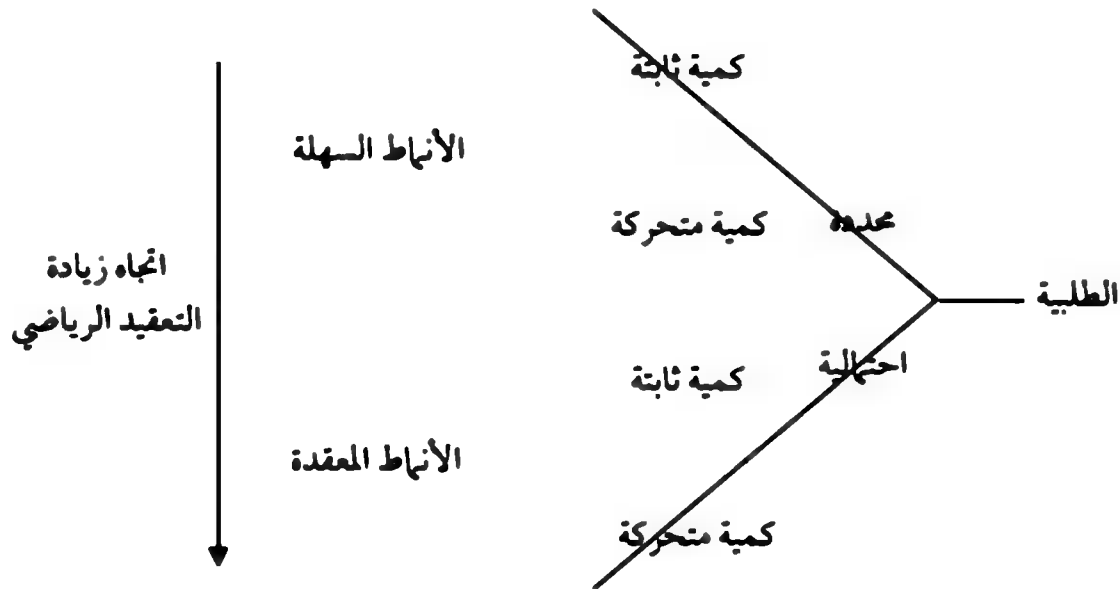
يشمل تكلفة فقدان المخزون عند طلب كمية من المخزون ولم تكن متوفرة وبالتالي يصبح الزبون في حالة انتظار المخزون - ويمكن حساب هذه التكلفة كدالة في زمن التأخر - أو دالة في فقدان الربح الناتج لو كانت المواد المخزنة موجودة في المخزن في الزمن المطلوبة فيه. وأحياناً يشار لها بفقدان فرصة المبيعات (Lost sales cost).

11.7.5 الطلبية (Order):

من المعروف أن الغرض من تكلفة حفظ المخزن (H) هو توفير الطلبية المناسبة في الوقت المناسب. عليه فإن من الضروري جداً أن يتم التخطيط لكمية الطلبية باستخدام أحد الطرق الإدارية لتنبؤ المخزون، مثال طريقة المتوسط الحسابي - أو المنحنى اللوغارتمي - والانحدار الخطي.

ويشار للطلبية أحياناً إلى تخطيط الإنتاج (Production) لفترة قصيرة أو طويلة المدى.

الشكل (11.4) يوضح أنواع مختلفة من الطلبيات التي يمكن أن يعترضها أنماط التخزين.



شكل (11.4)

11.8 بعض التعريفات المهمة في نظام التخزين:

1- الزمن اللازم لتوفير الطلبية «إصدار الأمر Lead time»: عندما يصدر الأمر بتوصيل طلبية معينة معروفة الكمية، فإن الزمن للإعداد في الوقت المناسب يسمى (Lead time) (L)

2- زيادة المخزون (Stock replenishment) هي كمية المخزون التي يمكن أن تضاف لحفياً أو بطريقة منتظمة - ويمكن إضافة المخزون لحظياً عندما تكون المواد تورد من الخارج وتضاف لحظياً عندما يتم صناعتها داخلياً. وفي جميع الأحوال زيادة المخزون وإنها تكون ذات قيمة موجبة.

3- الخطأ الزمنية (Time horizon): تعرف الفترة الزمنية للمخزون بأنها الفترة التي يمكن أن يتحكم بكمية المخزون، ويمكن أن تكون هذه الفترة محددة أو غير محددة. وتعتمد على كمية الطلبية ومدى معرفتها على مدى الفترة الزمنية.

4- عدد مصادر التوريد (Number of supply): من الممكن أن يحتوي نظام التخزين على عدة مخازن مختلفة المستويات حيث أن هذه المخازن تكون مركزية بالنسبة للأخرى وتقوم بدور المورد لبعضها.

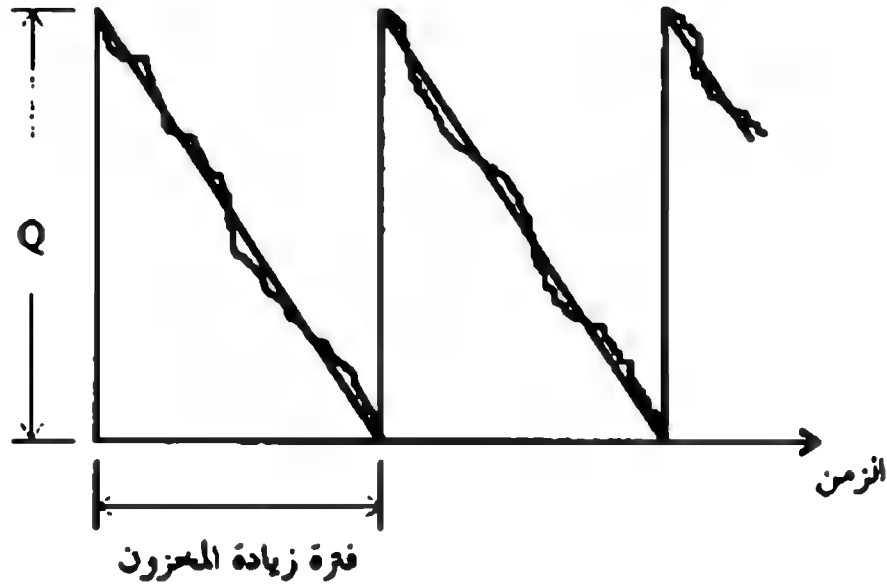
5- أنواع المواد المخزونة (Number of stored times) تحتوي أنظمة التخزين على عدة أنواع من المواد التي يمكن تخزينها وبالتالي يراعى في طرق حفظها وطلبها.

11.9 نمط طلب الكمية الاقتصادية

(Economic order quantity model) (E.O.Q)

نموذج E.O.Q بإضافة المخزون في كل دورة زمنية محددة الطلبية تصدر بمعدل ثابت في الزمن قدرها D. وكما هو موضح بالشكل (11.5) نلاحظ أن كلما وصل

المخزون إلى الصفر تصل كمية المخزون قدرها Q لحظياً إلى مستوى Q وليس يسح بنفاذ المخزون في تطبيق هذا النموذج.



شكل (11.5) طبيعة دورة التخزين

إن التكلفة الإجمالية خلال الدورة الزمنية للتخزين والاستهلاك هي مجموع تكاليف حفظ المخزون + تكاليف إعداد الطلبية + ثمن المواد المخزنة. فلو فرضنا أن الخطة الزمنية قدرها سنة، فإن D ترمز للطلبية السنوية. وأن VD تكلفة المنتج سنوياً.

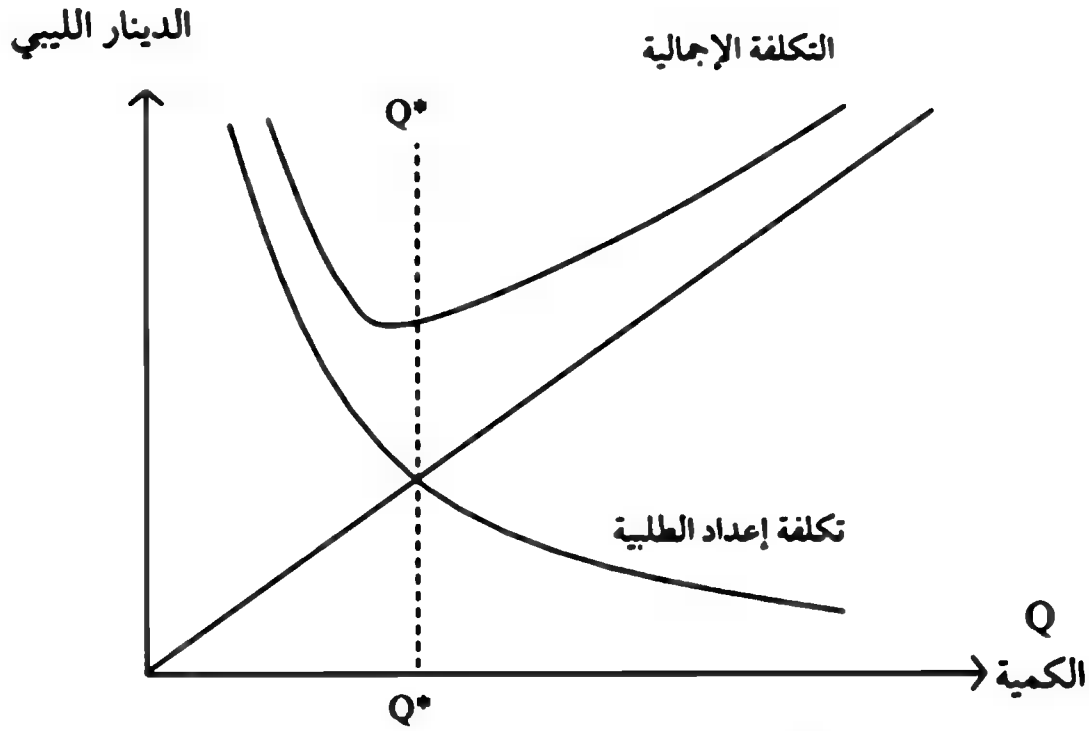
أما تكلفة حفظ المخزون فتحسب بواسطة متوسط المخزون $= \frac{1}{2}Q$ وأن تكلفة

$$\frac{D}{Q} = \text{إعداد الطلبية يعتمد على عدد الطلبيات}$$

ويمكن إعطاء التكلفة الإجمالية على النحو الآتي:

$$TQ = \frac{1}{2}c_1Q + c_2 \frac{D}{Q} + VD$$

التكلفة الإجمالية = تكلفة حفظ المخزون + تكلفة إعداد الطلبية + تكلفة المخزون



شكل (11.6) العلاقة بين تكاليف التخزين

وحيث أن تصغير التكلفة الإجمالية للمخزون يعتمد على الكمية Q
 ∴ باستخدام نظرية التفاضل:

$$TQ = \frac{1}{2} c_1 Q + c_2 \frac{D}{Q} + VD$$

$$\frac{dTC}{dQ} = \frac{c_1}{2} + \left(-\frac{Dc_2}{Q^2} \right) + 0$$

وعند أقل قيمة لتكلفة الإجمالية للتخزين $\frac{dTC}{dQ} = 0$

$$\therefore \frac{c_1}{2} = \frac{D}{Q^*} c_2$$

$$\therefore Q^* = \sqrt{\frac{2Dc_2}{c_1}}$$

ويمكن حساب Q^* بواسطة الرسم كما في الشكل (11.5).

وبما أن في النموذج الأولي لنظام التخزين بافتراض أن الطلبية السنوية D ثابتة وأن زمن إحضار الطلبية المناسبة Q^* محدد. ولا يسمح بالأمان الاحتياطي. فإنه يمكن حساب الكمية التي يتم فيها إعداد الطلبية الجديدة، بالمعادلة التالية:

$$R = \bar{d}L$$

حيث R الكمية التي يتم عندها الشروع في إعداد الطلبية الجديدة.

\bar{d} متوسط الصرف أو الاستهلاك اليومي (ثابت)

L الزمن الذي يتم عنده الشروع في إعداد الطلبية الجديدة.

$$\bar{d} = \frac{D}{365} \quad \text{حيث}$$

ويمكن حساب: تكلفة التخزين الصفر (Minimum total cost)

$$Tc^* = \sqrt{\frac{2Dc_2}{2}} c_1 + \frac{D}{\sqrt{\frac{2Dc_2}{2}}} c_2 + (Tc^*)$$

$$Tc^* = \sqrt{2c_2 Dc_3}$$

مثال 11.1:

فرع الشركة العامة للكهرباء يرغب في وضع خطة لتنظيم مخازن صيانة الإنارة العام في الشوارع والطرق الرئيسية بمدينة المنطقة الوسطى. ومن خلال الخبرة العملية لفرع الشركة قدرت الطلبية السنوية بمقدار 200,000 مصباح كهربائي في السنة ومتوسط تخزين المصباح 100 درهم. وإعداد الطلبية لتوريد المصابيح للمخازن 2000 د.ل للطلبية. ومتوسط الاستهلاك اليومي للمصابيح $\frac{200000}{365}$ وزمن إعداد الطلبية 15 يوماً. أحسب الكمية المناسبة للطلبية لتصغير تكلفة التخزين الإجمالية. وأحسب التكلفة الصغرى للتخزين.

الحل:

$$Q_{opt}^* = \sqrt{\frac{2Dc_2}{c_1}}$$

$$Q_{opt}^* = \sqrt{\frac{2(200.000)2000}{2}}$$

$$Tc^* = \sqrt{80000000000}$$

$$R = \bar{d} L = \frac{200,000}{365} (15) = 8219.17 \text{ مصباح}$$

$$\text{Min } Tc = \frac{D}{Q^*} c_2 + \frac{Q^*}{2} c_1$$

$$\text{Min } Tc = \frac{200,000}{89442.7} (2000) + \frac{89442.7}{2} \times 0.1$$

$$= 4472.10 + 4472.135$$

$$\text{Min } Tc = 8944.235 \text{ ديكارلين}$$

11.10 نمط طلب الكمية الاقتصادية مع استمرار الاستهلاك:

Economic fixed order quantity with usage model

من المعروف من الناحية العملية أن يحدث زيادة في حجم المخزون واستهلاكه في آن واحد، وهذه الحالة تحدث عندما يتعدى جزء من الإنتاج الجزء الذي يليه في حالة الإنتاج. ووفقاً لهذه الظروف يصبح النمط السابق على النحو الآتي:

$$TC = Qc_1 \frac{(P - d)}{2P} + \frac{D}{Q} c_2 + DV$$

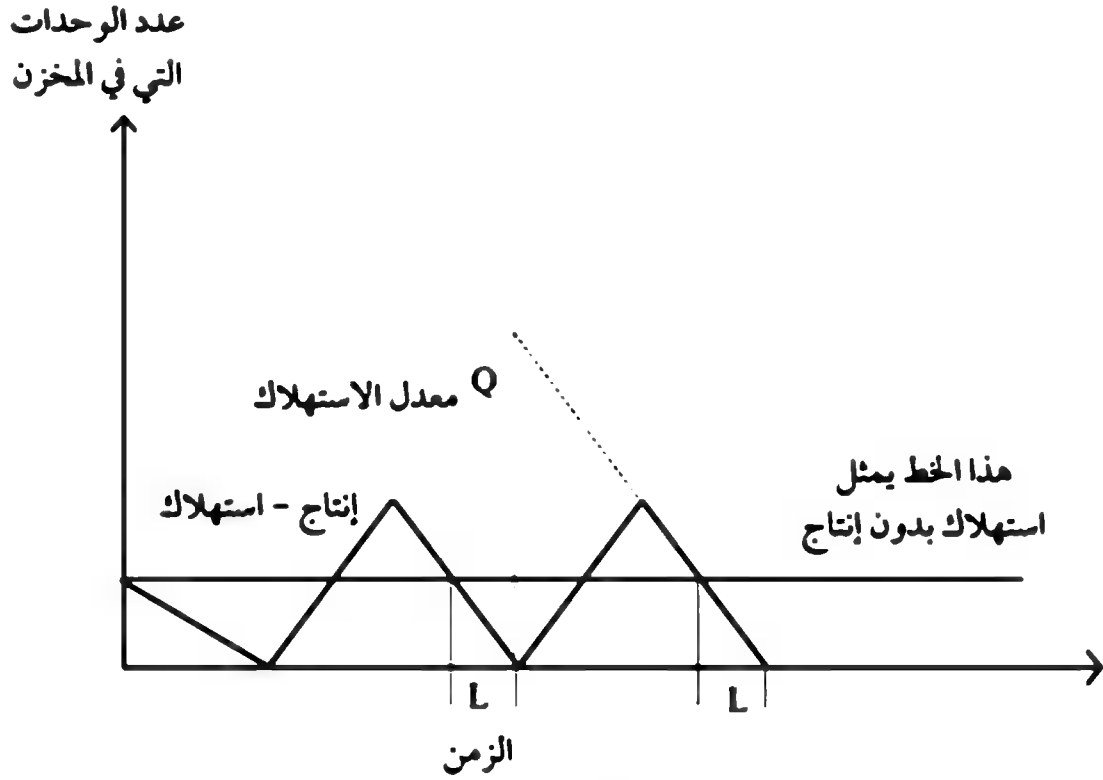
حيث d: كمية الطلبية الثابتة

p: كمية الإنتاج الثابت

وبتطبيق التفاضل الأول يمكن الحصول على أصغر Q_{opt} مناسبة وأصغر تكلفة

ممكنة للتخزين TC_{opt} على النحو التالي:

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2Dc_2}{c_1} + \frac{P}{(P-d)}}$$



شكل (11.7)

مثال 11.2:

منتج x يعتبر كمخزون أساسي لشركة ما. والمنتج النهائي يتم بواسطة خط تجميع بأن العمل اليومي. واحدة مركبات المنتج x يسمى x_1 والذي ينتج بواسطة قسم إنتاجي آخر بمعدل 100 منتج / اليوم.

ويستهلك مركب المنتج x (x_1) منتج / اليوم. فإذا علمت بأن المعلومات التالية: أحسب الطلبية الاقتصادية Q_{opt} .

معدل الاستهلاك اليومي (d) = 40 وحدة

الطلبية السنوية (D) = 10.000 (يوم 250 × 40)

الإنتاج اليومي (P) = 100 وحدة

تكلفة إعداد الطلبية c_1 = 50 د.ل

متوسط تكلفة التخزين (الحفظ) السنوي c_1 = 0.5 د.ل / الوحدة

وحدة $R d L = 40 (7) = 280$

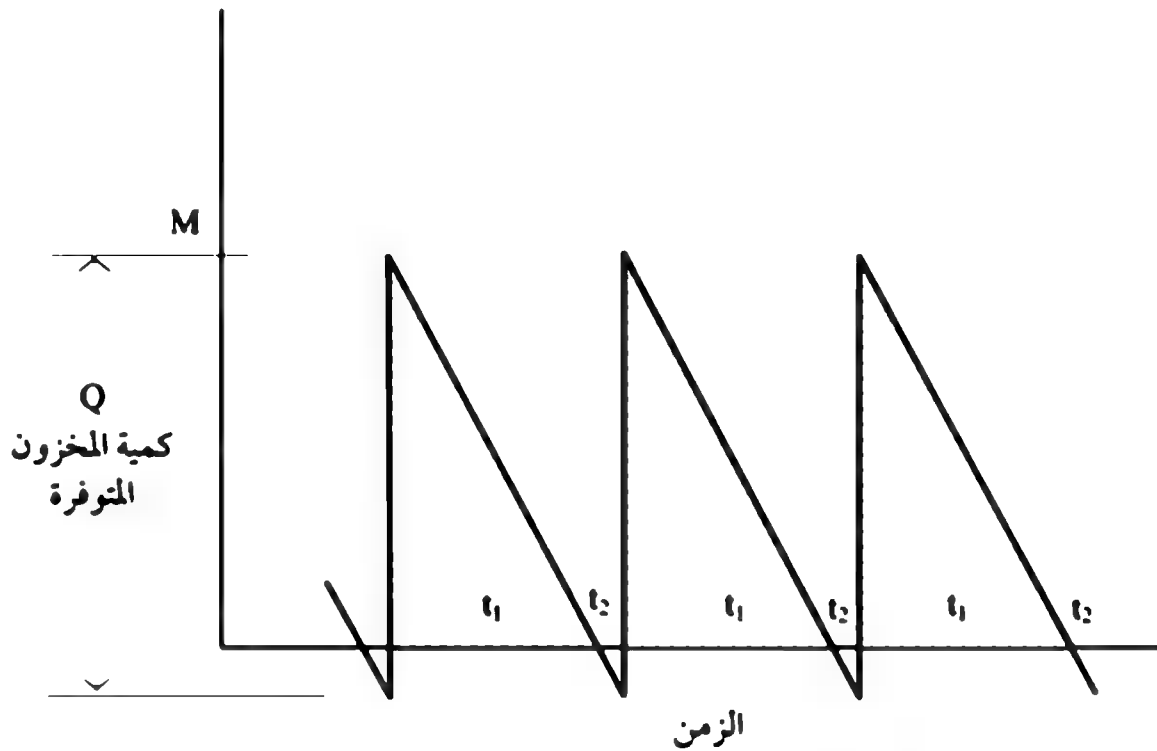
$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2Dc_1}{c_1} \cdot \frac{P}{P-d}}$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2(10.000)}{0.50} \cdot \frac{100}{100-40}} = 1826 \text{ وحدة}$$

11.11 نمط طلبية الكمية الاقتصادية مع السماح بفقدان المخزون

(Fixed - order quantity with backorders)

في التطبيقات العملية توجد بعض الحالات التي يحدث فيها عدم توفر الطلبية أثناء طلبها من المخازن - وعدم توفر المخزون يغطي حال الإشعار بعدم توفره في مرة واحدة. كما هو موضح بالشكل (11.8).



شكل (11.8) يوضح خط تحديد الطلبية الاقتصادية والسمح
بحدوث النقص في المخزون عند زمن الطلبية

حيث M = كمية الطلبية الثابتة.

Q = كمية الإنتاج الثابت.

t_1 = الفترة التي يتوفر فيها المخزون عند الطلب.

t_2 = الفترة التي لا يتوفر فيها المخزون عند الطلب.

c_1 = تكلفة حفظ الوحدة المخزونة في السنة.

c_2 = تكلفة فقدان الوحدة من المخزون عند الطلب.

c_3 = الطلبية السنوية.

D = كمية الإنتاج الثابت

وبناء على شكل (11.8)

متوسط المخزون أثناء الفترة المتوفر فيها الطلبية

$$\frac{M}{2} t_1$$

$$\frac{M}{2} t_1 c_1$$

متوسط حجم المخزون الغير متوفر خلال الفترة t_2

$$\frac{Q-M}{2} t_2$$

$$\frac{Q-M}{2} t_2 c_2$$

وتكلفة

مجموع التكلفة خلال الفترة $t_1 + t_2$

$$\frac{M}{2} t_1 c_1 + \frac{Q-M}{2} t_2 c_2 + c_3$$

وبما أن الطلبيات تنجز خلال سنة فإن عدد الطلبيات خلال سنة تساوي:

$$\text{عدد الفترات} = \left(\frac{D}{Q} \right)$$

عليه فإن التكلفة الإجمالية للتخزين:

$$T_c = \frac{D}{Q} \left(\frac{M}{2} t_1 c_1 + \frac{Q-M}{2} t_2 c_2 + c_3 \right)$$

وبواسطة تشابه المثلثات واستخدام التفاضل لـ T_c بالنسبة إلى Q و M

$$\therefore Q_{opt}^* = \sqrt{\frac{2Dc_2}{c_1}} \sqrt{\frac{c_1 + c_3}{c_2}}$$

$$MQ_{opt}^* = \sqrt{\frac{2Dc_2}{c_1}} \sqrt{\frac{c_1 + c_3}{c_2}}$$

فإن المعادلة الأولى تعطي حجم الطلبية المناسبة والمعادلة الثانية تعطي أعظم مستوى لحجم المخزون.

وللايجاد طول الفترة الزمنية ما بين الطلبيات وذلك بالتعويض عن Q بـ $\frac{D}{T}$ في المعادلات السابقة ونحصل على T على النحو الآتي:

$$T = \sqrt{\frac{2Dc_2}{c_1}} \sqrt{\frac{c_1 + c_3}{c_3}}$$

مثال 11.3:

مصنع طلبية السنوية الثابتة تقدر بـ 10.000 وحدة/ سنوياً.
وتكلفة إعداد الإنتاج 150 د.ل وتكلفة حفظ المخزون للوحدة سنوياً 2.0 د.ل.
فإذا حصل في عدم توفر الإنتاج على الطلبية فإن تكلفة عدم توفر الوحدة المخزون 5 د.ل. علماً بأن المخزون يوفر خلال حال فقدان وفي أقل فترة ممكنة (t_2). المطلوب حساب حجم الطلبية المناسبة اقتصادياً.

الحل:

$$D = 10.000 \text{ وحدة}$$

$$c_2 = 150 \text{ د.ل}$$

$$c_1 = 2 \text{ د.ل}$$

$$c_3 = 5$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2Dc_2}{c_1}} \sqrt{\frac{c_1 + c_3}{c_3}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(10.000)150}{2}} \sqrt{\frac{2+5}{5}} = 1445.3 \text{ وحدة}$$

كمية المخزون العظمى عند وصول الطلبية (M)

$$M = \sqrt{\frac{2Dc_2}{c_1}} \sqrt{\frac{c_1 + c_3}{c_3}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(10.000)150}{2}} \sqrt{\frac{3}{2+5}}$$

$$M = 1035 \text{ وحدة}$$

عدد الوحدات المطلوبة وغير المتوفرة في فترة الطلبية

$$M - Q = 1035 - 1445.3$$

$$= -410 \text{ وحدة}$$

الزمن المثالي ما بين فترة إحضار أي طلبيتين (T)

$$T = \sqrt{\frac{2Dc_2}{c_1}} \sqrt{\frac{c_1 + c_3}{c_3}}$$

$$T = \sqrt{\frac{2(150)}{1000(2)}} \sqrt{\frac{2+5}{5}} = 0.145 \text{ سنة}$$

$$T = 7\frac{1}{2} \text{ اسبوعا}$$

11.12 أنماط التخزين المعتمدة على تغير أسعار المواد المخزونة

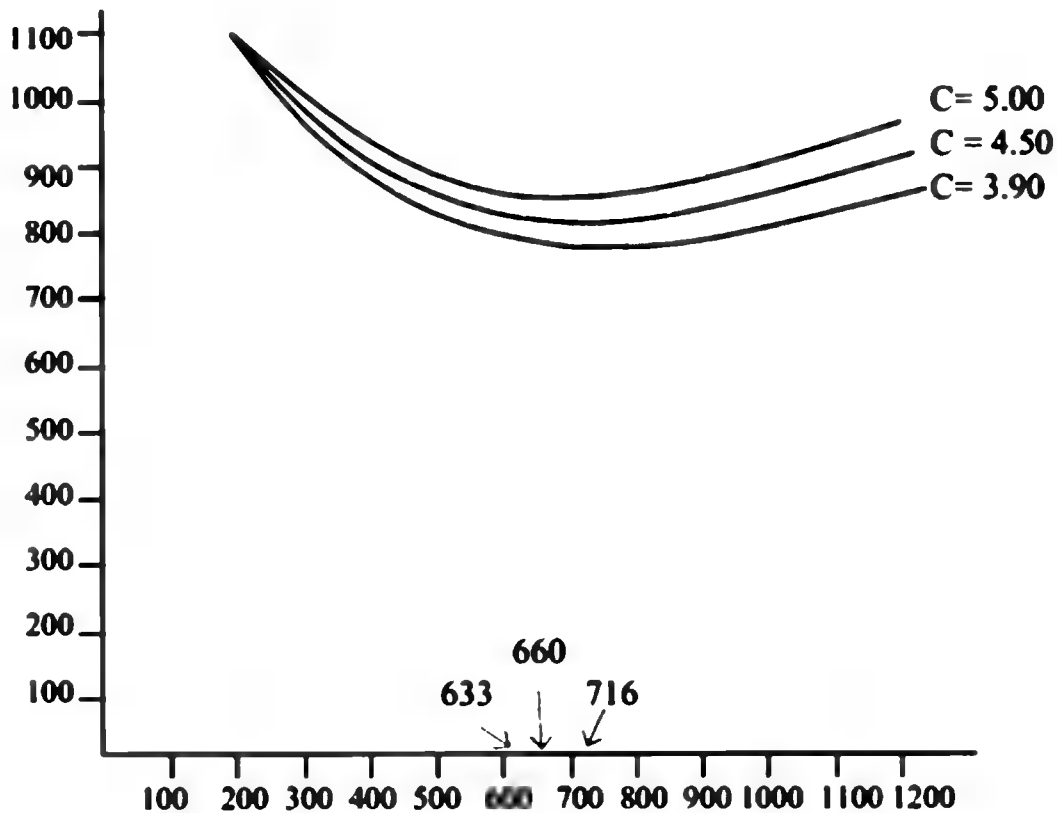
(Price - break models)

من المعروف بأن ثمن البيع أو تكلفة الوحدة المنتجة يتغير وفقاً لحجم الطلبية - ويعتبر هذا التعبير تغيراً متقطعاً وليس تغيراً مستمراً فعلى سبيل المثال لا الحصر تنتج ما يكلف 10 درهم إذا أنتجنا منه 1-99 (مطبوعة معنية) ويكلف 7 دراهم إذا أنتجنا منه

100 إلى 200 مطبوعة ويكلف 3 دراهم إذا أنتجنا منه أكثر من 500 مطبوعة. فإذا أردنا أن نحدد الكمية المناسبة فيستوجب علينا استخدام نموذج لتحديد الطلبية المناسبة.

إن التكلفة الإجمالية لكمية المناسبة والتي تؤدي إلى تصغير التكاليف الإجمالية يمكن حسابها وفقاً للمثال التالي:

إذا فرضنا أن تكلفة حفظ المخزون تُمثل كنسبة من ثمن القطعة المخزونة والتي أحياناً لا يتطلب حساب EOG عند كل سعر. ومن الطبيعي أن أكبر كمية اقتصادية تعطي عند أقل أسعار وهكذا. الشكل (11.9) يوضح العلاقة بين EOG المختلفة والأسعار المختلفة.



شكل (11.9)

مثال 11.8:

إذا علمت بأن:

وحدة $D = 10.000$

$c_2 = 20 \text{ L.D}$

من سعر التكلفة $c_1 = 20\%$

تكلفة الوحدة c

حيث $c = 5$ د.ل إذا كانت الطلبية من 0-499 وحدة.
 $c = 4.5$ د.ل إذا كانت الطلبية من 400-999 وحدة.
 $c = 3.9$ د.ل إذا كانت الطلبية من 1000 ← وأكثر.

$$Tc = Dc + Q_{opT} = \frac{D}{Q} c_2 + \frac{Q}{2} c_1$$

$$Q_{opT} = \sqrt{\frac{2Dc_2}{c_1}}$$

Q_{opT} عند $c = 5$ $Q_{opT} = 663$ وحدة

Q_{opT} عند $c = 4.5$ $Q_{opT} = 666$ وحدة

Q_{opT} عند $c = 3.9$ $Q_{opT} = 716$ وحدة

والجدول (11-1) يوضح طريقة الحسابات عند مختلف الكميات والأسعار والتي بناء على هذه المفاضلة يمكن للموردين اتخاذ اختيار أفضل كمية وأفضل سعر للإنتاج.

جدول (11.1)

| أكثر من 1000 | Q = 633 C = 3 D.L. | Q = 633 C = 3 D.L. | Q = 633 C = 3 D.L. | السم | الكتلة |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------|-----------------------|
| $(3.5 \times 0.2) \frac{1000}{2}$ | $(4.5 \times 0.2) \frac{266}{2}$ | $(4.5 \times 0.2) \frac{500}{2}$ | | | تكلفة حفظ المخزون |
| = 225 د.ل. | = 299.70 د.ل. | = 225 د.ل. | عالي | | $\frac{Q}{2} C_1$ |
| $\frac{10000(20)}{1000}$ | $\frac{10000(20)}{666}$ | $\frac{10000(20)}{500}$ | جداً | | تكلفة لإعداد الطلبية |
| = 200 د.ل. | = 300 د.ل. | = 400 د.ل. | | | $\frac{Q}{D} C_2$ |
| = 590 د.ل. | = 600 د.ل. | = 625 د.ل. | | | مجموع تكلفة المخزون |
| | | | | | • تكلفة إعداد الطلبية |
| $(3.5) 10000$ | $(4.5) 10000$ | $(4.5) 10000$ | | | تكلفة الوحدة المخزنة |
| = 39590 د.ل. | = 45599 د.ل. | = 45625 د.ل. | | | |

بالنظر إلى الجدول (11-1) الذي يوضح العلاقة بين التكلفة وكمية الطلبية الثابتة. فمثلاً الكمية التي تظهر في الطلبية الأولى تخصص أن شراء 633 وحدة لكل منها 5 د.ل، في حين أن إذا خصصنا شراء 633 وحدة بسعر 4.5 د.ل. تختلف أو تزيد عن سعر 5 التي هو 225 د.ل. وتطابق الكمية الثالثة 666 د.ل. ويمكن تطلب 716 بسعر 3.9 د.ل. وهذا سعر غير اقتصادي ولكن يمكن استعمال هذا السعر في الكمية التي تزيد عن 1000 وحدة.

يعني هذا أن كل كمية اقتصادية أو مناسبة تكفي مناسبة لسعر محدد في مدى محدد وليس دائماً كما يعتقد البعض أحياناً.

ويوضح أكثر أن السعر 5 صالح بأن يكون اقتصادي في الكمية المرافق له حسب الشكل (11-8).

وبالتالي عندما يختلف السعر عند كميات مختلفة فبتالي ليسنا مضطرين إلى حل المسألة عند كل مسعر، بل يجب حل المسألة عند أكبر طلبية وأقل سعر ثم نقارن كل كمية إذا تقع تحت المواصفات أم لا.

11.13 نموذج الطلبية الاقتصادية عندما تكون الفترة الزمنية ثابتة:

(Fixed-time period model)

يقصد بهذا النوع من الأنماط التي تعتمد فيه الطلبية على نظام الفترة الزمنية الثابتة. ومن المهم في هذا النوع من الأنظمة أن يتوفر المخزون الاحتياطي بكمية عالية بالنسبة لنظام الطلبية الثابتة التي نوقش مسبقاً.

وأن توفر المخزون الاحتياطي (Safety stock) يحمي النظام من حصول ظاهرة فقدان المخزون عند الطلبية.

فإن نظام الفترة الزمنية الثابتة تحت ظروف الاحتمالات مع شرط توفر المخزون

الاحتياطي لتحقيق مستوى الخدمات المطلوبة في توفير المواد المخزنة. الشكل (10-11) يوضح وصف نظام الفترة الزمنية الثابتة. مع دائرة المراجعة الزمنية (T) وزمن إعداد الطلبية الثابتة (L) بالإضافة إلى الطلبية الزمنية ذات التوزيع العشوائي بمتوسط \bar{d} وأن الكمية المطلوبة q تكون:

بمتوسط \bar{d} وأن الكمية المطلوبة q تكون:

$$q = \bar{d}(T + L) + Z \sigma_{T,L} - I$$

حيث:

$$\bar{d}(T + L) = \text{متوسط الطلبية خلال الفترة الزمنية الثابتة.}$$

$$Z \sigma_{T,L} = \text{احتياطي الأمان.}$$

$$I = \text{مستوى كمية المخزون المتوفر في أي وقت + ماتم طلبه.}$$

$$q = \text{الكمية المطلوبة.}$$

$$T = \text{طول الفترة الزمنية ما بين المراجعة لكمية المخزون.}$$

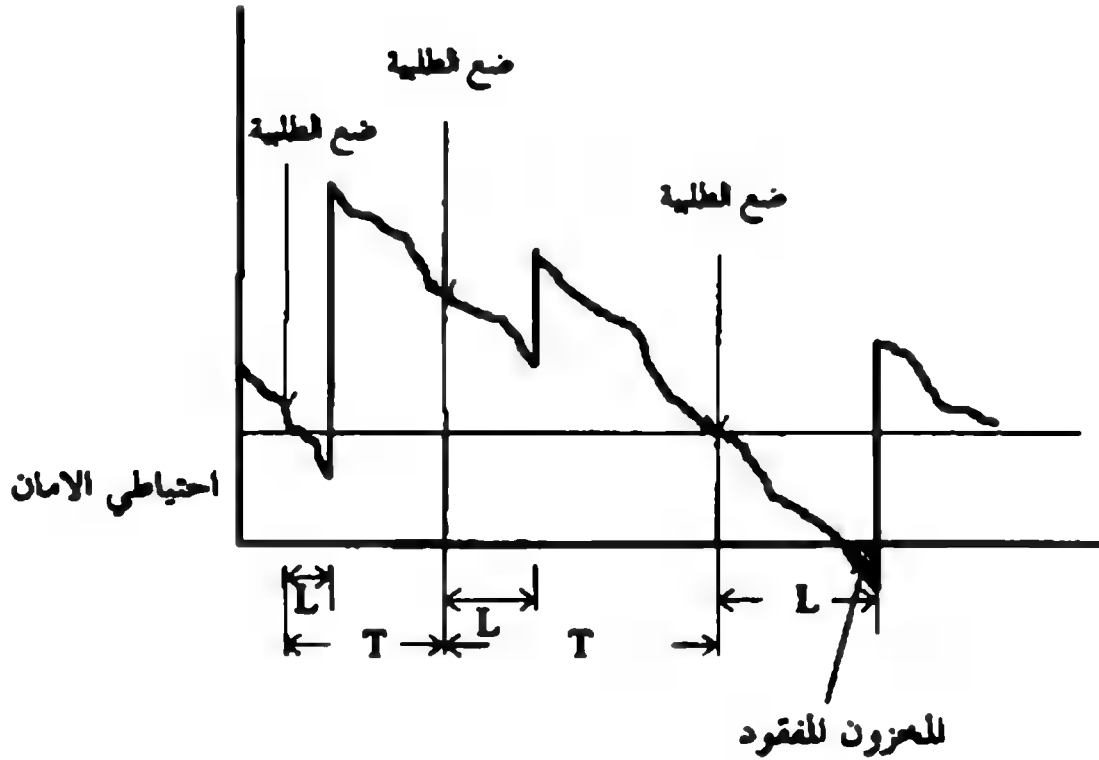
$$L = \text{زمن إعداد الطلبية حتى وصولها.}$$

$$\bar{d} = \text{متوسط الطلبية اليومية خلال الفترة } T + L.$$

$$Z = \text{عدد الانحراف المعياري خلال فترة محددة.}$$

$$\sigma_{T,L} = \text{الانحراف المعياري خلال فترة مراجعة الطلبية + إعداد الطلبية.}$$

في النمط (\bar{d}) يمكن أن تحسب بواسطة إحدى طرق التنبؤ أو تحسب كمتوسط الطلبية اليومية. بالإضافة إلى أن فترة الاستهلاك (T) وفترة إعداد الطلبية (L) يمكن أن تتغير أثناء السنة بسبب العطلات. وتقل بعض خطوط الإنتاج وعدد أيام العمل خلال الأسبوع بسبب الظروف الجوية.



$$E(z) = \frac{D_r(I - P)}{E_{T,L}}$$

حيث:

$E(Z)$ = عدد الوحدات المفقودة تخضع للمنحنى الطبيعي حيث لها متوسط $0 = \sigma = 1$

P = مستوى الخدمات المطلوبة.

D_r = الطليبة خلال فترة الاستهلاك T .

$\sigma_{r..}$ = الانحراف المعياري خلال فترة توفر الطليبة وزن إعدادها.

مثال (11-9):

إذا علمت بأن الطليبة اليوم من فتح ما تساوي 10 وحدات، وأن الانحراف المعياري يساوي 3 وحدات. وأن الانحراف المعياري يساوي 3 وحدات. وأن فترة متابعة

الاستهلاك 30 يوماً وأن زمن إعداد الطلبية 14 يوماً. فإذا قررت الإدارة أن سياسة توفير الطلبية من المخزون باحتمال 98٪، وإذا كان في بداية الفترة يوجد 42 وحدة في المخزن (I). أحسب عدد الوحدات التي يجب توريدها لتحقيق الطلبية.

الحل:

$$E(z) = \frac{D_T(I - P)}{\sigma_{T+L}}$$

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{\sum_{i=1}^{T+L} \sigma_{d_i}^2}$$

ويمثل σ_{T+L} الانحراف المعياري خلال الفترة الزمنية (L + T) وبما أن طلبية كل يوم لا تعتمد على طلبية أي يوم.

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{(30 + 14(3))^2} = 19.90$$

وفي هذه الحالة فإن الطلبية المطلوبة (D_T) خلال الفترة T الموضحة في الشكل (11-9) تكون $\bar{d}T$

$$E(z) = \frac{\bar{d}T(I - P)}{\sigma_{T+L}}$$

$$EL = \frac{10(30)(1 - 0.98)}{19.90} = 0.30151$$

من الجدول (11-2):

$$E(z) = 0.30151$$

وباستخدام طريقة المتوسط الحسابي (Interpolation)

$$z = 0.21$$

∴ الكمية المطلوبة توريدها q

$$q = \bar{d} (T + L) z \sigma_{T+L} - I$$

$$q = 10(30 + 14) + 0.2(19.90) - 42$$

$$q = 402 \quad \text{وحدة}$$

ولتحقيق أن الطلبية المطلوبة تكون متوفرة بنسبة 98٪ فإن الكمية الموردة يجب أن لا تقل عن 402 وحدة.

11.14 دراسة حالة (مخزن الإطارات بالشركة العامة للشاحنات)

تبلغ المساحة المسقوفة للمخزون حوالي 1200 م² وارتفاع 8 أمتار ويشغل في هذا المخزن أربعة إداريين وخمسة فنيين وينقسم المخزن إلى قسمين قسم لتخزين وتنظيم وترتيب الإطارات إلى حين الحاجة إليها في التجهيز والقسم الآخر يقوم بتجهيز وتركيب الإطارات ووضعها في أرفف إلى حين نقلها إلى خطوط الإنتاج.

وتنقسم الإطارات إلى نوعين أحدهما صغير ذو رقم 16/650 ويستعمل للحافلات الصغيرة (ديلي) والشاحنات الصغيرة (ديلي) والأخرى كبيرة ذو رقم 12/20 وتستعمل للشاحنات الكبيرة والحافلات السياحية.

ويتكون الإطار من ثلاثة قطع وهي الإطار الخارجي، والداخلي، والفلاب. حيث يتم تجميع هذه القطع الثلاث مع الإطار المعدني.

أما محتويات هذا المخزن فهي تتمثل في الآتي:

- عدد واحد رافعة شوكية.
- عدد ثلاثة آلات للفلك والتركيب.
- عدد اثنان ضاغط هواء.
- مجموعة من الأرفف بتنظيم المخزون.
- عربات نقل يدوية.

11.14.1 حساب تكاليف التخزين للإطارات:

في حساب تكاليف التخزين تم تطبيق نموذج الشراء بدون عجز وذلك لأنه أكثر ملائمة من النماذج الرياضية الأخرى حيث أن المصنع يقوم بتوريد الإطارات من الخارج ولهذا لا يمكن استخدام النماذج الخاصة بالتصنيع.

أما بالنسبة للنماذج التي تسمح بحدوث عجز فهي تناقش حالة توقف الإنتاج في فترات مختلفة، وهذا لا ينطبق على الحالة التي تحت الدراسة، كما أن البيانات التي يحتاجها هذا النموذج لا يمكن الحصول عليها، ولذا تم اختيار نموذج الشراء بدون عجز والذي يعتبر من النماذج المحددة ويفترض هذا النموذج ما يلي:

- 1- ثبات معدل الإنتاج.
- 2- يتحقق الشراء بسرعة وعلى الفور.
- 3- عدم وجود تخزين احتياطي.
- 4- لا يسمح بنفاذ المخزون نهائياً من المخزن.

وفيما يلي الخطوات المتبعة لحساب تكاليف التخزين داخل المصنع:

- 1- تكاليف أعداد الطلبية.
- 2- تكاليف الاحتفاظ بالمخزون.
- 3- تكاليف شراء المخزون.

أولاً: حساب تكاليف أعداد الطلبيات:

يمكن إيجاد تكلفة إعداد الطلبيات بضرب تكلفة الطلبية الواحدة (S) في كمية الطلبية السنوية (D) مقسوم على كمية الطلبية الواحدة (Q) ومن هنا سوف نتطرق إلى حساب كمية الطلبية السنوية للإطارات.

من خلال البيانات المتحصل عليها من سجلات إدارة المشتريات بالمصنع أمكن حساب كمية الطلبية السنوية للإطارات وذلك حسب ما هو مبين في الجدول التالي:

جدول (11-2)

| إطار 12/20 | إطار 16/650 | السنة |
|------------|-------------|-------|
| 3100 | 10200 | 1991 |
| 3795 | 9800 | 1992 |
| 3400 | 10150 | 1993 |
| 3250 | 10250 | 1994 |
| 4000 | 9600 | 1995 |

ويأخذ المتوسط الحسابي للكميات السابقة كل على حدة نحصل على الآتي:

كمية الطلبة السنوي للإطار 16/650 = 10000 إطار

كمية الطلبة السنوي للإطار 12/20 = 3509 إطار

كمية الطلبة السنوي للإطار (D) = 3509 + 10000 = 13509 إطار

وبهذا يمكن حساب تكاليف الطلبة الواحدة (S) والتي ترتبط بكل من الآتي:

- تكلفة الهواتف والبريد والفاكس = 60.6 د.ل. / طلبة.
- أجور العاملين على إعداد الطلبة = 2750 د.ل. / طلبة
- تكاليف النقل والتفريغ للطلبة الواحدة = 1500 د.ل. / طلبة
- مصاريف أخرى وتشمل القرطاسية والدمغة وغيرها = 650 د.ل. / طلبة

وعلى هذا الأساس يكون إجمالي تكلفة الطلبة الواحدة (S) كما يلي:

$$560 + 1500 + 2750 = S$$

$$S = 4870.6 \text{ د.ل. / طلبة}$$

$$\text{تكلفة إعداد الطلبة} = (D/Q) \times 480.6$$

ثانياً: حساب تكلفة الاحتفاظ بالمخزون:

يمكن حساب تكلفة الاحتفاظ بالمخزون بضرب متوسط كمية الطلبية الواحدة في تكلفة التخزين السنوي للوحدة الواحدة في المخزن، وحيث أن كمية الطلبية قيمة مجهولة فإننا سوف نقوم بحساب تكلفة التخزين السنوي للوحدة الواحدة والتي يمكن حسابها كما يلي:

أ. حساب الإهلاك للأصول الثابتة:

يحتوي المخزون على مجموعة من الآلات والمعدات والأجهزة والتي تستهلك مع مرور الزمن وتقل قيمتها إلى أن تصبح بعد عدة سنوات خردة، ولهذا يتم حساب قيمة الإهلاك السنوي للآلات وإضافته على تكلفة الاحتفاظ بالمخزون. وهناك عدة طرق لحساب الإهلاك منها:

- 1- طريقة الخط المستقيم.
- 2- طريقة النسب الثابتة.
- 2- طريقة مجموع السنين.

وقد تم استخدام طريقة النسب الثابتة لحساب الإهلاك لكل الآلات والمباني والمعدات وقدرات نسبة الإهلاك من قبل المصنع للآلات 20٪ من قيمتها نسبة الإهلاك للمباني 5٪ من قيمتها.

وبهذا تكون قيمة الإهلاك لكل آلة كما يلي:

- | | |
|---------------------------|---------------------|
| 1- آلة فك وتركيب الإطارات | 1500 د.ل. سنوياً |
| 2- رافعة شوكية | 1236 د.ل. سنوياً |
| 3- جهاز ضخ الهواء | 135.848 د.ل. سنوياً |
| 4- جهاز تعديل الإطارات | 395.8 د.ل. سنوياً |
| 5- عربة نقل يدوية | 100 د.ل. سنوياً |

- 6- رافعة لنقل الإطارات 500 د.ل. سنوياً
 7- مبنى مخزن الإطارات 2125 د.ل. سنوياً
 8- مبني مخزن الإطارات 7081.648 د.ل. سنوياً

ب- حساب أجور العاملين في المخزن:

كما ذكر سابقاً فإنه يشتغل في هذا المخزن تسعة عاملين ومتوسط الأجور حول 250 د.ل. في الشهر وعلى هذا فإن تكلفة الأجور تساوي:

$$27000 = 250 \times 9 \times 12 = \text{د.ل.}$$

ج- تكلفة الكهرباء:

حيث أن طبيعة المادة المخزونة لا تحتاج إلى عمليات تبريد أو تدفئة للمخزن، ولذا فإن كمية الكهرباء المستهلكة تصرف في الإضاءة وتشغيل الآلات والمعدات الكهربائية فقط.

وقد بلغت تكاليف الكهرباء سنوياً 850 د.ل. سنوياً

د- حساب تكاليف التلف:

طبيعة المادة المخزونة لا تتأثر بالعوامل الجوية، ولكن قد يحدث في بعض الأحيان تلف للإطارات بسبب سوء المناولة أو عند التركيب الخاطئ للإطار. وقد حددت نسبة التلف في الإطارات 0.5٪، ومن هنا يمكن حساب التلف كما يلي:

$$\begin{aligned} \text{كمية التلف في إطارات} &= 12/20 = 0.005 \times 3509 = 17 \text{ إطار سنوياً} \\ \text{كمية التلف في إطارات} &= 16/650 = 0.005 \times 10000 = 50 \text{ إطار سنوياً} \end{aligned}$$

وحيث أن:

$$\text{سعر بيع إطار} = 12/20 = 268 \text{ د.ل.}$$

$$\text{سعر بيع إطار} = 16/650 = 57 \text{ د.ل.}$$

فإن تكلفة التلف في إطار $12/20 = 268 \times 17 = 45556$ د.ل. سنوياً
وتكلفة التلف في إطار $16/650 = 57 \times 50 = 2850$ د.ل. سنوياً

هـ مصاريف أخرى وتتكون من الآتي:

- 1- التأمين على المخزون = 12000 د.ل. سنوياً
- 2- القرطاسية والأدوات المكتبية = 150 د.ل. سنوياً
- 3- الأمن والسلامة = 1000 د.ل. سنوياً
- 4- فوائد رأس المال = 10768 د.ل. سنوياً

إجمالي تكاليف الاحتفاظ بالمخزون لمدة سنة كاملة = 66255.648 د.ل. سنوياً

حيث أن كمية الاحتياج السنوي للإطارات 13509 إطار

فإن تكلفة التخزين السنوي للوحدة الواحدة:

$$(H) = 66255.648 / 13509 = 4.9 \text{ د.ل. / إطار.}$$

$$\text{تكلفة الاحتفاظ بالمخزون} = Q/2 \times 4.9$$

ثانياً، حساب تكلفة شراء المخزون،

إن كمية الطلب السنوي للإنتاج من الإطارات نوع $16/650 = 1000$ إطار،
بسر شراء = $36 \text{ د.ل. / للإطار (من الخارج).}$

وكمية الطلب السنوي للإنتاج من الإطارات نوع $12/20 = 3509$ إطار،
بسر شراء = $102 \text{ د.ل. / للإطار (من الخارج).}$

التكلفة الكلية لشراء إطارات نوع $16/650$ (من الخارج)

$$= 10000 \times 36 = 360000$$

إجمالي تكلفة الشراء للإطارات (من الخارج)

$$= 360000 + 357918 = 717918 \text{ د.ل.}$$

وهناك بعض المصاريف الأساسية الأخرى التي تدخل ضمن حساب تكاليف الشراء الكلية وهي:

| | |
|--------------------------|--------|
| مصاريف المواني | 1.3% |
| مصاريف ملاحية | 2.5% |
| مصاريف جمركية | 30% |
| دمغة ومصاريف بلدية ورصيف | 6.06% |
| مصاريف مصرفية | 2% |
| نهر صناعي | 15% |
| تأمين بحري | 0.5% |
| النسبة الإجمالية | 57.36% |

$$\text{التكاليف الإضافية} = 717918 \times 0.5736 = 411797$$

$$\text{التكاليف الكلية لشراء الإطارات} = 717918 + 411797 = 1129715$$

11.14.2 إيجاد الكمية الاقتصادية (Q) للطلبية حسابياً:

يمكن إيجاد الكمية الاقتصادية للطلبية باستعمال المعادلة (2-3) الموضحة في الفصل الثالث:

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times 13509 \times 4870.6}{4.9}}$$

$$Q = \sqrt{26855892}$$

$$Q = 5182 \quad \text{إطار}$$

ومن المعادلة (3-3) يمكن إيجاد الفترة الزمنية بين طلبيتين:

$$t = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \times 4870.6}{13509 \times 4.9}}$$

$$Q = 0.35$$

الفترة الزمنية بين طلبيتين = $365 \times 0.35 = 127.75$ يوم

ومن المعادلة يمكن إيجاد التكاليف الكلية للتخزين

$$TC = \sqrt{2HDS}$$

$$Q = \sqrt{2 \times 4.9 \times 13509 \times 4870.6}$$

$$Q = 25393 \text{ L.D.}$$

11.14.3 إيجاد الكمية الاقتصادية (Q) للطلبية ببياناً:

أولاً: تكاليف إعداد الطلبيات:

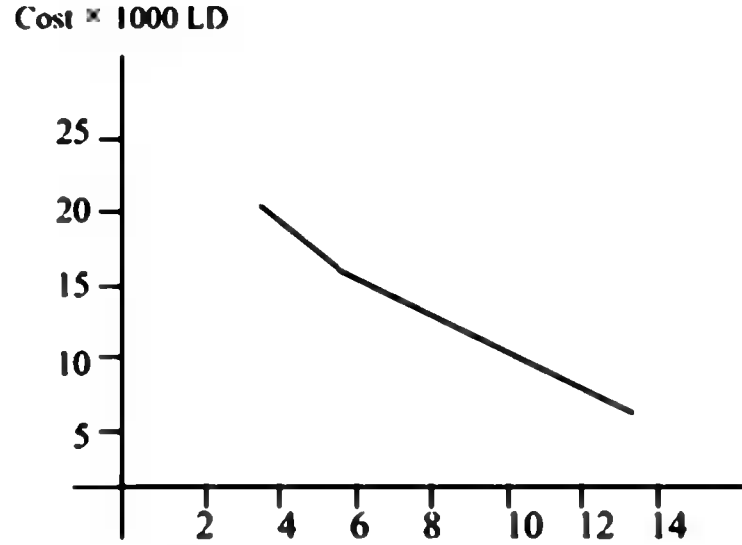
يتم التعويض بقيم مختلفة لـ (Q) في المعادلة الخاصة بتكاليف إعداد الطلبيات وتدوين النقاط المتحصل عليها في جدول كما يلي:

$$Q / 13506 \times 4870.6 = \text{تكلفة إعداد الطلبية}$$

جدول (11-3) تكلفة إعداد الطلبيات

| عدد الطلبيات | كمية الطلبية (إطار) | تكلفة إعداد الطلبيات (د.ل) |
|--------------|---------------------|----------------------------|
| 1 | 13509 | 4870.9 |
| 2 | 6754 | 9741.2 |
| 3 | 5182 | 12696 |
| 4 | 3377 | 19482.4 |

ومن القيمة في الجدول أعلاه يمكن الحصول على الشكل:



شكل (11.11) تكلفة إعداد الطلبات

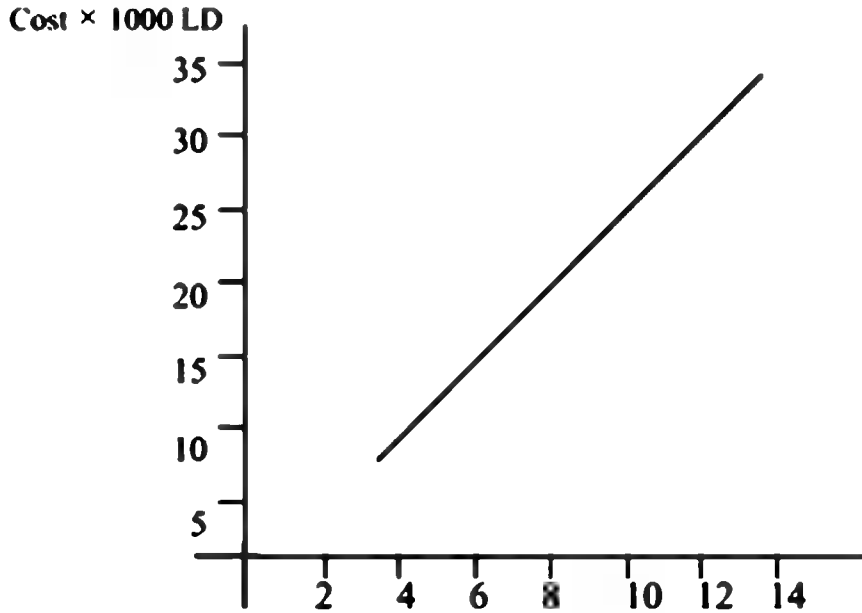
ثانياً: تكاليف الاحتفاظ بالمخزون:

يتم التعويض بقيم مختلفة لـ (Q) في المعادلة الخاصة بتكاليف الاحتفاظ بالمخزون وتدوين النقاط المتحصل عليها في جدول كما يلي:

جدول (11-4) تكلفة الاحتفاظ بالمخزون

| عدد الطلبات | كمية الطلبية (إطار) | تكلفة الاحتفاظ بالمخزون (د.ل) |
|-------------|---------------------|-------------------------------|
| 1 | 13509 | 33097 |
| 2 | 6754 | 16547 |
| 3 | 5182 | 12696 |
| 4 | 3377 | 8273 |

ومن القيمة في الجدول أعلاه يمكن الحصول على الشكل (11-12):



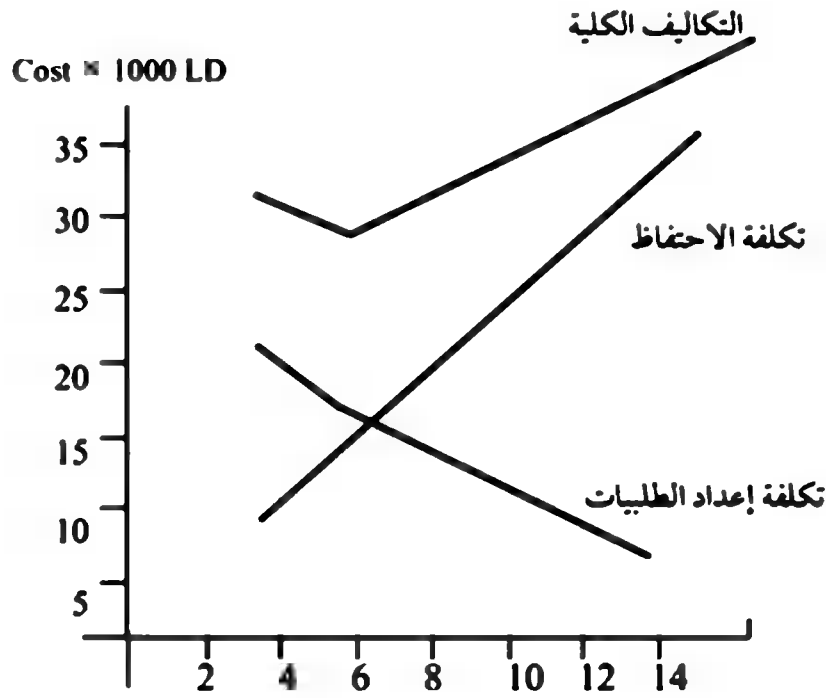
شكل (11.12) تكلفة الاحتفاظ بالمخزون

من الجدول (11-4) نحصل على التكاليف الكلية للتخزين:

جدول (11-5) التكاليف الكلية للتخزين

| عدد الطلبات | كمية الطلبية (إطار) | تكلفة الطلبيات (د.ل) | تكلفة الاحتفاظ بالمخزون (د.ل) | التكاليف الكلية للتخزين (د.ل) |
|-------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 13509 | 4870.6 | 33097 | 37967 |
| 2 | 6754 | 97741.2 | 16547 | 26288 |
| 3 | 5182 | 12696 | 12969 | 25392 |
| 4 | 3377 | 19482.4 | 8273 | 27756 |

ومن القيمة في الجدول أعلاه يمكن الحصول على الشكل (11-13):



شكل (11.13) التكاليف الكلية للتخزين

ومن خلال دراسة عناصر تكاليف التخزين الكلية والتي تتكون من كلفة الاحتفاظ بالمخزون وكلفة إعداد الطلبية نلاحظ أن هاتين الكلفتين متناسبتين عكسياً بعضهما مع البعض، فزيادة حجم الطلبية تؤدي إلى زيادة كلفة الاحتفاظ وفي نفس الوقت انخفاض في كلف إعداد الطلبية والعكس صحيح.

ومن الشكل (11.13) يمكن إيجاد الكمية الاقتصادية للطلبية (Q) والتكاليف الكلية المثلى لها كانت كما يلي:

$$\text{الكمية الاقتصادية (Q)} = 5182 \text{ إطار}$$

$$\text{التكلفة الكلية المناظرة للكمية الاقتصادية} =$$

$$= 1129715.76 + 25392 = 1155107.76 \text{ د.ل.}$$

11.14.4 تكاليف تخزين الإطارات خلال سنة 1995 المرفقة:

طبقاً للمعلومات المتحصل عليها من سجلات إدارة المشتريات للمصنع

عدد الطلبات السنوية = 5 طلبات.

كمية الطلبية الواحدة = 2702 إطار.

تكلفة الاحتفاظ بالمخزون = 6620 د.ل. سنوياً

تكلفة إعداد الطلبية = 24353 د.ل. سنوياً

التكلفة الكلية = 30973 + 1129715

= 1160688 د.ل. سنوياً

11.14.5 برنامج بالحاسب الآلي لحساب الكمية الاقتصادية:

C THIS PROGRAM IS USED TO CALCULATE THE PRODUCTION COSTS
 C TO CALCULATE THE COST OF PREPARING ONE ORDER
 C D: THE ANNUAL PRODUCTION QUANTITY
 C SALR: THE COST OF SALARIES
 C POST : THE COST OF POST
 C TRANS : THE COST OF TRANSPORT C OTHER: ANOTHER SPENTS
 C S: THE TOTAL COST OF PREPARING ONE ORDER

WRITE (*, *)'ENTER ANNUAL PRODUCTION QUANTITY (D)' READ (*,*)D

WRITE (*,*)'ENTER THE COSTS OF'

WRITE (*,*)SALARIES ='

READ (*, *)SALR

WRITE (*,*)' .. POST ='

READ (*, *)POST

WRITE (*,*)' .. TRANSPORT =' READ (*, *)TRANS

WRITE (*,*)' .. ANOTHER SPENTS=' READ (*, *)OTHER

S = SALR + POST + TRANS + OTHER

C *****

C TO CALCULATE THE STORAGE COST OF ONE UNIT C OBVON :
 THE COST OF OBIVIONS

C ELECTR : THE ELECTRICITY COST

C WASTE : THE COST OF WASTES

C INSUR : THE INSURANCE COST

C SALAR : THE SALARIES

C SAFE : THE SAFETY COST

C INTRE: THE INTERESTS COST

C OTHERS: ANOTHERSPENTS

C H: THE STORAGE COST OF ONE UNIT

C Q : THE RIGHT QUANTITY

WRITE (*,*)'ENTER THE STORAGE COSTS AND SPENTS ... '

WRITE (*,*)'OBIVIONS.....'

READ (*,*)OBVON

WRITE (*,*)'ELECTRICITY COST '

```

READ (*,*)ELECTR
WRITE (*,*)'WASTES .... .'
READ (*,*)WASTES
WRITE (*,*)'INSURANCE COSTS .... .'
READ (*,*)INSUR
WRITE (*,*)'SALARIES .... .'
READ (*,*)SALAR
WRITE (*,*)'SAFETY ..... .'
READ (*,*)SAFE
WRITE (*,*)'INTEREST .... .'
READ (*,*)INTER
WRITE (*,*)'ANOTHER SPENTS .... .'
READ (*,*)OTHERS
H=OBYON+ELECTR+WASTE+INSUR+SALAR+SAFE+INTER+OTHERS
H=HID
WRITE (*,*)'H = ',H
C
Q = SQRT (2.0*D*SIH)
WRITE (,..),Q = ',Q
C *****
C  TO CALCULATE THE ORDER PREPARING COST
C  ORDPRP : THE ORDER PREPARING COST

ORDPRP = S*D/Q
WRITE (*,1)ORDPRP
C  TO CALCULATE THE STORAGE COST:
C  STRCOS : THE STORAGE COST
STRCOS = H*Q/2.0
WRITE (*,2)STRCOS

C  THE TOTAL COST
C  TC : THE TOTAL COST TC = ORDPRP + STRCOS
WRITE (*,3)TC

STOP
1  FORMAT (5X,'ORDERPREPARING COST =',F15.5)
2  FORMAT(5X,'STORAGE COST =',F15.5)
3  FORMAT(5X,'THE TOTAL COST =',F15.5)
END

```

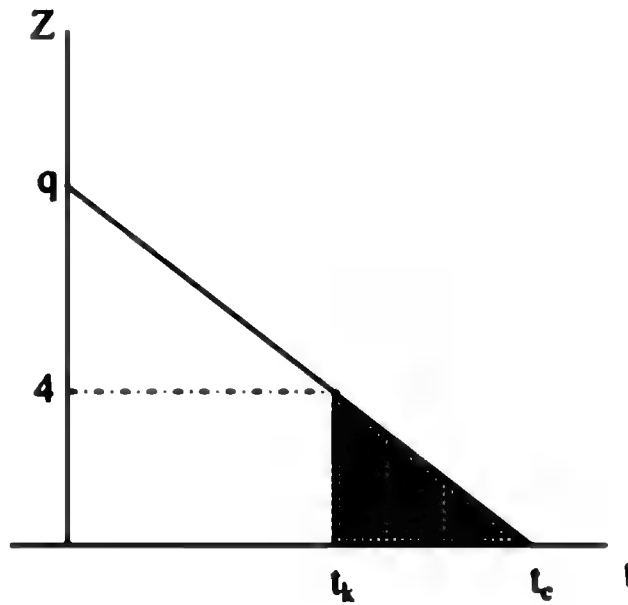
11.15 مسائل:

- 1- ضع علامة (✓) أو (✗) على العبارات التالية:
 - 1- تكلفة أعداد الطلبية تعتمد على حجم الطيبة الواحدة ()
 - 2- في نموذج نظام التخزين تكلفة فقدان الطلبية من السهل تقديره. ()
 - 3- لا يمكن أن يحتوي نموذج نظام التخزين على تكلفة حفظ الطلبية ()
 - 4- في نموذج نظام التخزين الفترة الثابتة يعاد إضافة الطلبية في فترة زمنية متساوية ()
 - 5- الزيادة في تكلفة أعداد الطلبية تقلل من كمية الطلبية المناسبة ()
 - 6- عندما تزيد تكلفة إعداد الطلبية تزيد كمية الطلبية المناسبة ()
 - 7- إذا سمح في نموذج نظام التخزين بفقدان الطلبية فإن تكلفة فقدان المخزون مهمة في استكمال التكلفة الإجمالية للتخزين ()
- 2- شركة ما طلبتها السنوية 1500 وحدة، تكلفة إعداد الطلبية الواحدة 20 د.ل، ولا يسمح بفقدان المخزون لهذه الشركة. تكلفة حفظ المخزون للوحدة في الشهر 2 د.ل.
 - أ - احسب كمية الطلبية المناسبة.
 - ب - احسب التكلفة الإجمالية للمخزون.
- 3- شركة إنتاجية ترغب في تحقيق الطلبية الأسبوعية بمتوسط قدرة 2000 وحدة. تكلفة إعداد الطلبية 15 د.ل. وتكلفة حفظ الوحدة المنتجة لمدة سنة 0.195 د.ل. علماً بأن السنة تساوي 364 فرضاً.

أحسب:

 - أ - كمية الطلبية عند أقل تكلفة ممكنة.
 - ب - عدد الطلبيات في السنة.
 - ج - طول الفترة الزمنية في الدورة المخزنية الواحدة.
 - د - تكلفة التخزين السنوية.

4- شركة وطنية طلبيتها السنوية D . وكل طلبية يكلف إعدادها مبلغ قدرة k . وتكلفة حفظ المخزون للوحدة في السنة H كل ما زاد حجم المخزون عن 4 وحدات. وكل ما زاد حجم المخزون عن 4 أصبحت تكلفة المخزون F . كما هو موضح بالشكل.



المطلوب: أثبت أن:

(1) تكلفة حفظ المخزون في الدورة التخزينية الواحدة.

$$H = \left[\frac{q^2 - 16}{2D} \right] + F \left(\frac{8}{2} \right)$$

(2) تكلفة التخزين الإجمالية في الدورة التخزينية الواحدة.

$$C = \frac{DK - 8(H - f)}{q} + \frac{Hq}{2}$$

(3) الطلبية المناسبة q^* =

$$q^* = \sqrt{\frac{2DK - 16(H - f)}{H}}$$

5- بئر نفط يضخ سنوياً 20.000 برميل / ويستخدم من هذه الكمية 5000 برميل شهرياً. وتكلفة إعداد الطلبية 30 د.ل، وتكلفة تخزين البرميل الواحد 0.45 د.ل. والزمن الذي يبدأ في إعداد الطلبية قبل نفاذها 4 أسابيع أحسب:

1- كمية الطلبية المناسبة.

2- مستوى التخزين الأعظم.

3- كمية إعادة الطلبية.

4- التكلفة الإجمالية للتخزين

6- شركة إنتاجية يطلب منها توفير 40,000 منتج. وتكلفة الطلبية الواحدة تكلف 100 د.ل، وتكلفة حفظ المخزون تساوي 10% من تكلفة حفظ التخزين. ويمكن بيع الوحدة المنتجة وفقاً للخطة الكمية التالية:

| عدد الوحدات | السعر |
|---------------|--------|
| 5000-0 | 20 د.ل |
| 2,000 - 5,000 | 19 د.ل |
| 25,000 وأكثر | 18 د.ل |

المطلوب:

أ - احسب كمية الطلبية المناسبة EOQ.

ب - أوجد قيمة التكلفة الإجمالية لطلب الكمية المناسبة.

7- شركة إنتاجية يطلب منها توفير 500.000 وحدة إنتاجية من أحد منتوجاتها. وتكلفة الطلبية الواحدة 100 د.ل وتكلفة حفظ المخزون 10% من تكلفة التخزين. ويمكن تباع الوحدات المنتجة وفقاً للخطة التالية:

| عدد الوحدات | السعر |
|---------------|-----------|
| 6000-0 | 20 د.ل |
| 12.000 - 6000 | 19 د.ل |
| 30.000-12001 | 20.02 د.ل |
| 30.001 وأكثر | 20.00 د.ل |

المطلوب:

- أ - احسب كمية الطلبية المناسبة EOQ.
 - ب - احسب التكلفة الإجمالية عند الكمية المناسبة.
- 8- إذا كانت طلبية لمنتج ما تساوي 100 وحدة سنوياً. وإن تكلفة الطلبية الواحدة تساوي 10 د.ل وأن تكلفة حفظ المخزون 2 د.ل للوحدة أحسب:
- أ - كمية الطلبية المناسبة (التي تحقق أقل تكلفة إجمالية للتخزين).
 - ب - التكلفة الإجمالية للتخزين عند طلب الطلبية المناسبة.
- 9- ما هو الهدف الأساسي من نظام التخزين؟
- 10- أشرح معنى المفردات التالية:
- أ - المخزون الاحتياطي.
 - ب - نظام المخزون تحت الاستهلاك
- 11- ناقش التكاليف التي تؤثر على حجم المخزون.
- 12- ما هي الأسئلة المطلوب الإجابة عليها من نمط نظام التخزين.

- 13- أشرح معنى المفردات التالية:
- أ - إحضار المواد الغذائية اليومية لمنزلك.
 - ب - الحصول على الجريدة اليومية.
 - ج - شراء الوقود للمركبة الآلية.
- وما هي المسألة التي تحتاج إلى احتياطي تخزين أعلى.
- 14- ما هي السياسة التي يجب إتباعها لتحسين نظام التخزين في إحدى الأسواق العامة. ناقش.
- 15- كيف يتم توقيع الطلبات التي بناء عليها يحدد طلب الكمية المناسبة.

الفصل الثاني عشر

نظرية نظام خطوط الانتظار

يتطرق هذا الفصل إلى موضوعات أساسية مثل ماهية نظرية خطوط الانتظار ، ومشكلة نظام خطوط الانتظار ، ومواصفات ومكونات هذه الخطوط. كما يتضمن الفصل تطبيقات في الأنماط الرياضية لخطوط الانتظار ، بالإضافة إلى مجموعة من المسائل والتمارين التي تفيد في عملية استيعاب القارئ لهذه التقنيات.

12.1 مقدمة:

ظهرت نظرية خطوط الانتظار في 1900 ميلادي بواسطة عالم رياضيات يدعى (A. K. Erlang)، والذي بدأ بدراسة مشكلة تسلسل وتداخل خطوط الهاتف، وبعدها في الحرب العالمية الثانية بدأت تطبيقات عديدة في مجال الصناعة الإنتاجية والخدمية وأصبحت إحدى الأدوات المهمة في العمليات الإدارية.

سوف نتناول في هذا الفصل معلومات مفيدة عن استخدام نظرية نظام الطوابير والقوانين العاملة بها مع الاعتماد على وجود خلفية متوسطة للقارئ على علم الإحصاء لغرض متابعة المعلومات المطلوبة ومعرفة أصولها المبدئية.

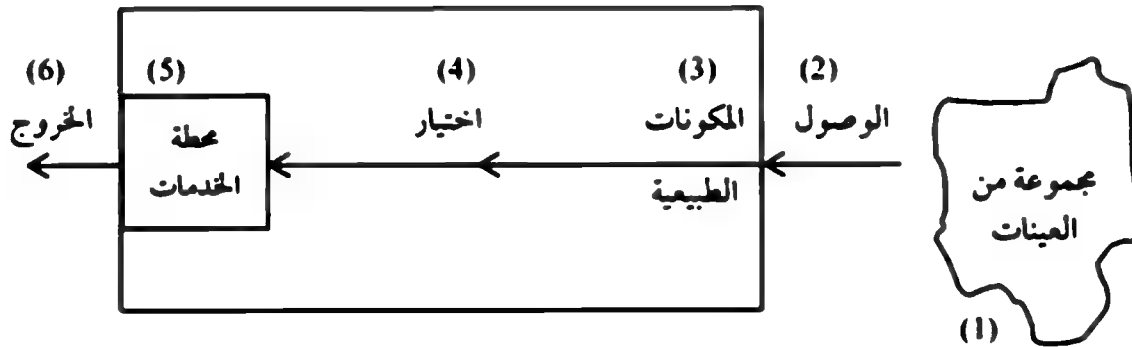
12.2 مشكلة نظام خطوط الانتظار:

تظهر هذه المشكلة عندما يوجد نظام محطة تقديم خدمات متشابه مثال محطات الوقود - حانوت الحلاقة - صالات عرض الأشرطة - طرف في مصرف - أمين خزانة في مؤسسة - تقديم خدمات اهواتف الوطنية والدولية - ... الخ، وعندما يوجد هذا النوع من المحطات فإن المشكلة هي تقديم الخدمات الضرورية في الزمن المناسب وبأقل تكلفة ممكنة من الآلات والمعدات والطاقة البشرية المساهمة في تقديم هذه الخدمات وبأكثر فائدة ممكنة - بالإضافة إلى تفادي فقدان الزبائن وعدم سوء تخطيط الإمكانيات بأن تصبح معطلة عندما تكون متوفرة أكثر من اللازم.

فمثال خط تسجيل الطلاب في بداية العام الجامعي في كلية جامعية ما - من المطلوب أن يتم تسجيل الطلاب في وقت محدد تراه الجامعة وذلك بتوفير مكاتب التسجيل أكثر من العدد المتوفر في حالة العمل العادي - وهذا يترتب عليه زيادة تكلفة في ميزانية الكلية وبالتالي يجب أن تكون دراسة هذه الحالة كافية لحل مشكلة التسجيل في الوقت المناسب وبما لا يتعارض مع تحميل الجامعة ميزانية فوق الميزانية المخطط لها.

12.3 مواصفات خطوط الانتظار:

الشكل رقم (12.1) يوضح مكونات ومواصفات خط الانتظار وبالتفصيل في الأشكال التي تتبع هذا الشكل:

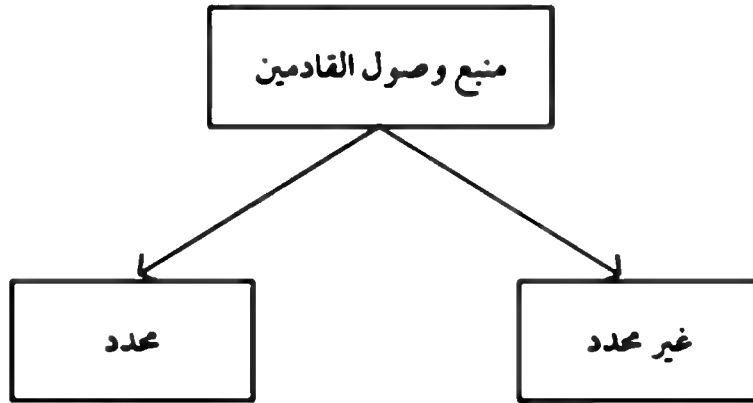


شكل : (12.1) مكونات ومواصفات خط الانتظار

12.3.1 مصدر العينات (Population source)

يقصد بمصدر العينات بمصدر الواصلين في أي نظام لتلقي الخدمات في محطة الخدمات. ومن الممكن أن يكون المصدر ذو أعداد محددة وأحياناً تكون غير محددة (Finite of infinite). فمثلاً عدد الآلات في مصنع ما والتي تنتظر الصيانة أو فريق فهد عدد محدود (Finite).

أما عدد الواصلين إلى حانوت حلقة يكون غير محدد من الزبائن. عدد السيارات القادمة إلى مدينة طرابلس غير محدد، والأمثلة كثيرة في الحياة، ويمكن تمثيل نوع القادمين في شكل 12.2.



شكل : (12.2) تمثيل نوع القادمين

12.3.2 مواصفات الواصلين (Arrival characteristics):

12.3.3 نمط الواصلين (Pattern Arrival):

يمكن أن تكون طريقة الواصلين بطريقة يمكن التحكم فيها ومعرفة سرعة وصولها وكميات الواصلين إلى مراكز الخدمة أو الخدمات. فمثلاً القادمين إلى حانوت الحلقة يقل عددهم يوم الجمعة وبطبيعة الحال يزداد العدد في أيام الأسبوع الأخرى. ربما يزداد عدد الزبائن في الموزعات الفردية في أيام تخفيض السلع عنها في الأيام العادية أو يزداد في مناسبات الأعياد الدينية مثال عيد الفطر وعيد الأضحى المبارك عنها في الأيام العادية. خطوط الطيران والخطوط الجوية تزدحم في مواسم العطلة الصيفية عنها في باقي أشهر السنة. وفي مثال هذه الحالات يمكن التحكم في نموذج عدد الواصلين وتوفير الخدمات اللازمة لهم.

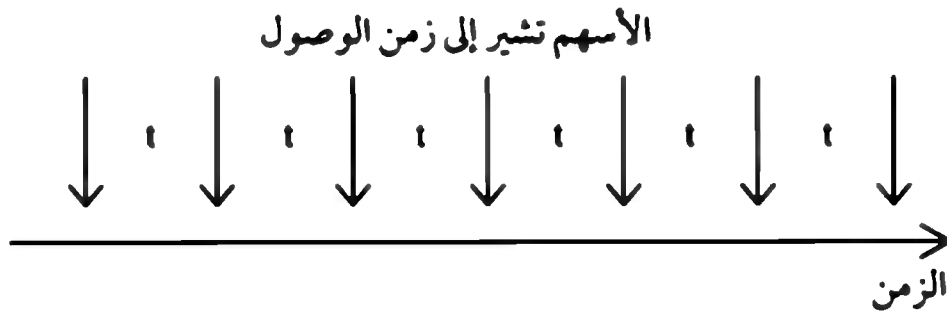
ولا يمكن التحكم أحياناً في عدد القادمين إلى مراكز الخدمة مثال غرف الطوارئ في المستشفيات.

2- حجم العينات الواصلة إلى مراكز الخدمات (Size of arrival unit):

يمكن يكون الواصلين على هيئة مفردة عندما يكون مركز الخدمة واحد والتي يمثل أقل نموذج لأنظمة الانتظار. ومن الممكن أن يكون حجم العينة يصل على أفواج أو دفعات لتلقي الخدمة على هيئة عدة مراكز خدمات في آن واحد، مثال مشاهد بقلم في صالة فرح عامة أو عشاء إلى خمس أشخاص على طاولة واحدة.... الخ.

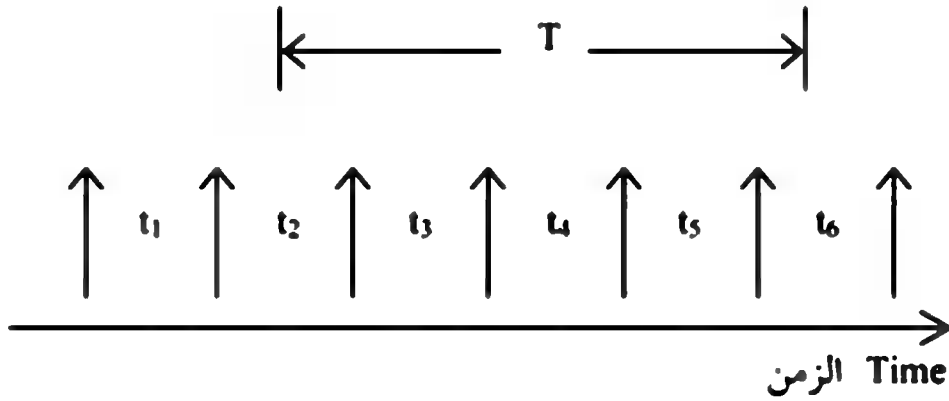
3- توزيع الواصلين (Distribution of arrivals)

يمكن أن يكون طريقة توزيع الواصلين على نظام ثابت وذلك بحجم ثابت في زمن ثابت أي فترات متساوية كما هو موضح بالشكل (12.3).



شكل : (12.3) يوضح وصول العينات بصورة ثابتة وفي زمن ثابت

ويمكن النظر في توزيع الواصلين أما بالنسبة إلى فترات الزمن بين الواصلين أو باحتمال وصول أي حالة وحالة أخرى أو بواسطة زمن معروف (T) ونعمل على كيفية حساب كم عدد الواصلين خلال فترة زمنية محددة كما هو موضح بالشكل (12.4).

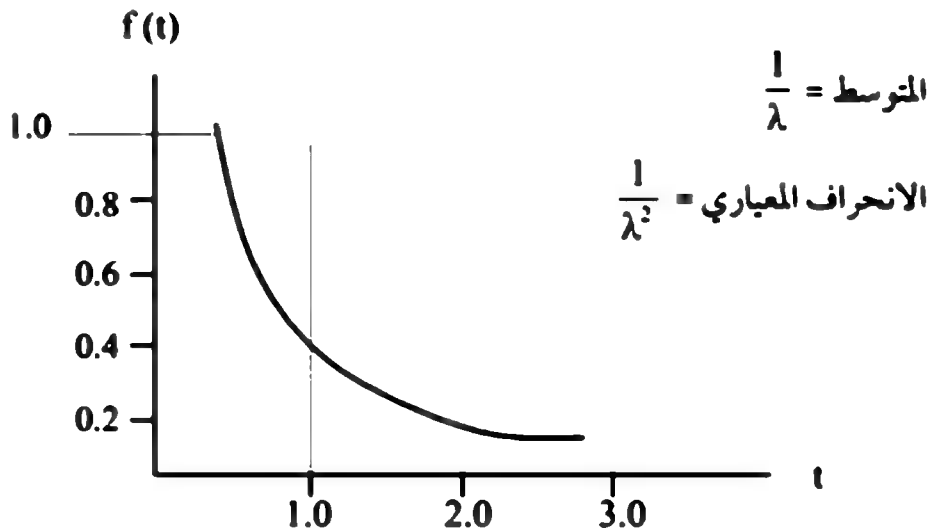


شكل (12.4) كيفية حساب كم عدد الواصلين خلال فترة زمنية محددة

إذا رسمنا طريقة وصول العينات فنلاحظ أن التوزيع يكون توزيع أسّي (Exponential distribution) كما في الشكل (12.5) وله المعادلة الرياضية التالية:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots(12.1)$$

حيث $f(t)$ تمثل احتمال حصول واصلين في الفترة (t)



شكل (12.5) التوزيع الأسّي عند $\lambda=1$

والجدول التالي يوضح احتمال أن العينة التالية سوف تصل عند الزمن t

| | t | $F(x)$ |
|-------|-----|--------|
| دقيقة | 0 | 1.0 |
| | 1 | 0.35 |
| | 2 | 0.15 |
| | 4 | 0 |

أما إذا اهتمينا بعدد الواصلين خلال الفترة T حسب التوزيع المعياري الموضح في الشكل (12.6) ولإيجاد عدد الواصلين n خلال الفترة T ووصولهم عشوائياً فإن التوزيع ينحصر لما يسمى بتوزيع بوسان (Passion distribution) والتي يعطي بالمعادلة الرياضية التالية.

$$P_t(n) = \frac{(\lambda T)^n e^{-\lambda T}}{n!} \quad \dots\dots\dots(12.2)$$

والمعادلة (12.2) توضح أن احتمال عدد n من الواصلين سوف تقدم لهم خدمات في الفترة الزمنية (T) فمثلاً إذا كان نسبة الواصلين في نظام الطوابير (3) فإن ($\lambda = 3$) وترغب في إيجاد احتمال 5 وحدات سوف تصل خلال دقيقة واحدة فإن:

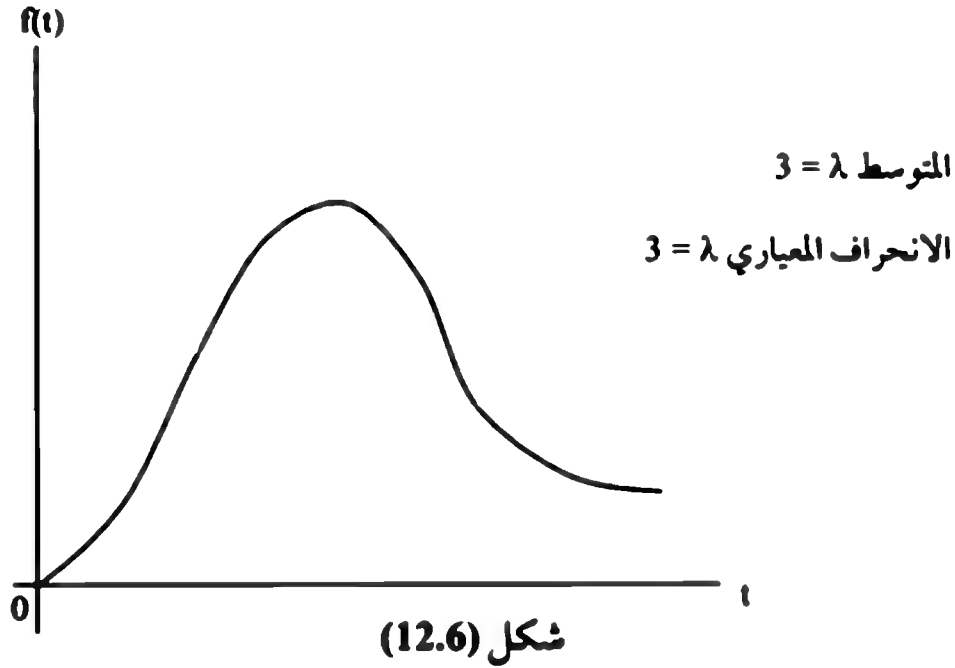
$$(n = 5 \text{ . } T = 1), p_{1,5}$$

$$p_{1,5} = \frac{(3 \times 1)e^{3 \times 1}}{5!}$$

$$= \frac{3e^3}{120} = 2.025e^3$$

$$p_{1,5} = 0.0101$$

وهذا يعني أن 10.1٪ فرصة لوصول 5 زبائن في فترة دقيقة واحدة.



وبالمثل يمكن أن يعرف توزيع الأسّي السالب وتوزيع بوسان بواسطة الجداول التي تعطي في مرفقات هذا الكتاب.

ويعرف التوزيع العام (توزيع إيرلنغ) (Erlang distribution) على النحو التالي:

$$f(t) = \frac{k\gamma(k\lambda t)^{k-1} e^{-k\lambda t}}{(k-1)!}$$

$$\text{حيث المتوسط} = \frac{1}{\lambda} \text{ والانحراف المعياري} = \frac{1}{k\lambda}$$

حيث k [رقم موجب صحيح. ويختلف من توزيع إلى آخر $k=1$ الدرجة الأولى، $k=2$ الدرجة الثانية ... الخ.

وفقاً لقيمة k كما هو موضح بالشكل (12.7) يكون شكل المنحنى.

4- درجة انتظار الواصلين (Degree of patience)

يقصد بدرجة انتظار الواصلين إلى مركز الخدمة هو الصبر الذي يصاحبهم بانتظار نقطة الخدمة حتى تصبح شاغرة مهما طال زمن الانتظار حتى انتظارهم الطويل في طابور الخدمة يسمى بالصابرين.

ويوجد نوعان من المنتظرين الذين ليس لديهم صبر طويل للانتظار مركز الخدمة. نوع يعمل على دراسة طول خط الانتظار وزحمة مكان تقديم الخدمات وعليه يقرر مغادرة نظام الطوابير. ونوع ينتظر قليل في طابور المنتظرين ثم يغادر.

12.3.4 مواصفات خطوط الانتظار الطبيعية (Physical feature of lines):

1- طول خط الانتظار (Length):

من المعروف من الناحية العملية أن الخط اللامحدود (infinite) يعتبر خط طويل من ناحية سعته الخدمية مثال وقوف السيارات في بوابة في معبر طريق أو انتظار الجمهور لقطع تذكرة دخول إلى مسرح ... الخ.

أما الخطوط المحدودة الطول مثال محطات الوقود، والميناء، ومحطة السيارات ومحطة غسيل السيارات، وطابور الشاحنات في مصنع الأسمنت، ... الخ.

2- عدد خطوط الانتظار (Number of lines):

يقصد بالخط الوحيد مثال خط المرور من طريق عام واحد، أو بوابة دخول إلى مصنع، متجر مواد غذائية، أو أي محطة خدمات مفردة. وفي الغالب توجد خطوط متعددة للانتظار أو الخدمات. مثال محطات الوقود طرفين في مصرف تجاري أو أهلي، تسجيل الطلاب في الجامعة، خدمات الفنادق، خدمات الهاتف، خدمات الموانئ الخ والتي توجد فيها أكثر من بوابة، ووفقاً لهذه المواصلات يمكن حساب الزمن المتوقع للانتظار والزمن المتوقع للخدمة، والتكاليف المترتبة على ذلك.

11.3.5 الاختيار في خطوط الانتظار (Selection of waiting line)

اختيار خط الانتظار يتم وفقاً للأولويات الخدمة المقدمة للزبون، والتي تتمثل في عدد الزبائن في خط الانتظار - متوسط زمن الانتظار - مدى تغير زمن الانتظار = كقاعدة الخدمات المقدمة.

ومن ضمن هذه الأولويات الذي يصل أولاً تقدم له الخدمة أولاً (First-come first-served) (FCFS).

مثال ما يحصل في الأسواق العامة والجمعيات التجارية والزراعية والمطاعم والفنادق ... الخ.

ويمكن أن تعطي الأولويات إلى حالات خاصة من الزبائن مثال المرضى في حالة الطوارئ الزبون التي يحقق ربح أكثر - الزبون الذي طلبته أكبر - الزبون المعروف التعامل معه بدلاً من زبون عمومي - أطول خط انتظار - الزبون الذي له موعد سابق.

12.3.6 مواصفات محطة الخدمة (Service facility):

يمكن أن يكون خط الانتظار مفرداً - أو جماعياً - أو مخلوطاً وفقاً لطبيعة الخدمة. ويعتمد هذا على نوع الخدمة المقدمة والشروط اللازمة لعمل طلبية الخدمة فعلى سبيل المثال:

1- قناة الانتظار المفردة في مستوى واحد (Single channel)

توجد قوانين رياضية مبسطة عند توفر المعلومات عن كيفية الوصول والخدمة، مثال نوع التوزيع المعياري - مثال ذلك (حانوت الحلاقة).

2- قناة الانتظار المفردة في مستويين (Single channel multiphase):

مثال ذلك محطة غسيل سيارات والتي يتمثل في محطة خدمة واحدة بتسلسل. مثال الغسيل، تنظيف الأتربة، التجفيف، التلميع ... الخ آخر العملية الخدمية المطلوبة.

3- عدة قنوات في مستوى واحد (Multichannel single phase):

تتمثل هذه الحالة في طرفين المصارف التجارية - يقومون بنفس الخدمات في خطوط متوازية ومتشابهة وتعتمد السرعة في الخدمات وفقاً للمعاملة المالية وتوفر المعلومات من الزبون وخبرة الموظف الذي يقوم بالخدمة.

4- قنوات مختلفة في مستويات مختلفة (Multichannel multiphase)

هذه الحالة مشابهة إلى الحالة السابقة مع اختلاف أن تقدم بعض الخدمات المختلفة بتسلسل في قناة واحدة. مثال دخول المريض إلى المستشفى والتي تقدم له خدمات مختلفة ومتبادلية حتى يصل إلى غرفة الإقامة في المستشفى بعد عدة فحوصات.

5- قنوات مختلطة (Mixed channels)

حيث أن فكرة القنوات المختلطة تعني وصول الزبائن إلى قنوات فردية ومتعددة ويذهبون إلى خدمات فردية ومتسلسلة.

6- معدل تقديم الخدمة (Service rate)

يقصد بمعدل الخدمة هدفين معينين: معدل خدمة ثابتة وهذا يعني أن زمن تقديم الخدمة متساوي وفقاً لمعدل وصول ثابت للزبائن الذين يتلقون الخدمة. وغالباً ما تحصل هذه الحالة عندما تكون الخدمة آلية (أي بواسطة الآلة).

أما معدل الخدمة المتغير فهو يخضع للتوزيع المعياري العام وفقاً لنوع الخدمة تحت توزيع (Erlang) بغض النظر عن قناة خدمة مفردة أو قنوات خدمة متعددة أو متعددة ومتسلسلة.

12.3.7 الخروج (Exit):

إذا أنهى الزبون الخدمة المطلوبة في منظومة خطوط الانتظار في الغالب احتمالان هما:

- 1- يمكن أن يرجع إلى عينة الوصلين لطلب الخدمة مرة أخرى أو؛
 - 2- يمكن أن يدخل في توقع الاحتمالات الضعيفة لطلب الخدمة مرة أخرى.
- ويمكن شرح الحالة الأولى للآلة تحتاج إلى صيانة وقائية دورية والحالة الثانية للآلة تم تطويرها وقدرة تحملها على الاستمرار والرجوع إلى الصيانة الوقائية أصبحت قليلة.

12.4 تطبيقات الأنماط الرياضية لخطوط الانتظار

يحتوي هذا الجزء من هذا الفصل على أمثلة عديدة توضح كيفية استخدام القوانين الخاصة بنظم خطوط الانتظار والتي سوف تستعرض في الجدول (12.1)، (12.2)، (12.3)، (12.4).

1- نمط رقم (1) (Model 1)

مصرف الجماهيرية بطرابلس استحدث طريق لسحب النقود بواسطة طرفين السين داخل صالة المصرف. ومن خلال إدارة المصرف توقعت أن معدل قدوم الزبائن هو 15 / الساعة وأن معدل خدمة الزبون الواحد 3 دقائق وإذا فرضنا أن توزيع الواصلين يخضع لـ (Poisson) وأن توزيع الخدمات تخضع لـ (exponential) أحسب المعلومات التالية.

- 1- كفاءة آلة الصرف.
- 2- متوسط عدد الزبائن المنتظرين.
- 3- متوسط عدد الزبائن في منظومة خط الانتظار.
- 4- متوسط الزمن اللازم للانتظار في خط الانتظار.
- 5- متوسط الزمن اللازم في منظومة الانتظار بما في ذلك زمن الخدمة.

جدول (12.2)

Infinite queuing notation (Infinite)

| | |
|-------------|---|
| σ | = Standard deviation |
| λ | = Arrival rate |
| λ | = Service rate |
| $1/\mu$ | = Average service time |
| $1/\lambda$ | = Average time between arrivals |
| ρ | = Potential utilization of the service facility (defined as λ/μ) |
| \bar{n}_i | = Average number waiting in line |
| \bar{n}_s | = Average number in system (including any being served) |
| \bar{t}_i | = Average time waiting in line |
| \bar{t}_s | = Average total time in system (including time to be served) |
| K | = Kth distribution in the Erlang family of curves |
| n | = Number of units in the system |
| M | = Number of identical service channels |
| Q | = Maximum queue length (sum of waiting space and service space) |
| P_n | = Probability of exactly n units in system |
| P_w | = Probability of waiting in line |

جدول (12.3)

Finite queuing notation (based on Peck and Hazelwood tables)

| | |
|-------|--|
| D | = Probability that an arrival must wait in line |
| F | = Efficiency factor, a measure of the effect of having to wait in line |
| H | = Average number of units being serviced |
| I | = Population source less those in queuing system (N - n) |
| L | = Average number of units in line |
| M | = Number of service channels |
| n | = Average number of units in queuing system (including the one being served) |
| N | = Number of units in population source |
| p_n | = Probability of exactly n units in queuing system |
| T | = Average time to perform the service |
| U | = Average time between customer service requirements |
| W | = Average waiting time in line |
| X | = Service factor or proportion of service time required |

جدول (12.4)

Equations for models in Exhibit 9.8 (see Exhibit 9.9 for explanation of notation)

| | |
|---------|--|
| Model 1 | $\begin{cases} \bar{n}_1 = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} & \bar{i}_1 = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} & P_n = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \\ \bar{n}_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} & \bar{i}_s = \frac{1}{\mu - \lambda} & P = \frac{\lambda}{\mu} \end{cases}$ |
| Model 2 | $\begin{cases} \bar{n}_1 = \frac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)} & \bar{i}_1 = \frac{\lambda}{2\mu(\mu - \lambda)} \\ \bar{n}_s = \bar{n}_1 \frac{\lambda}{\mu} & \bar{i}_s = \bar{i}_1 + \frac{1}{\mu} \end{cases}$ |
| Model 3 | $\begin{cases} \bar{n}_1 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 \left[\frac{1 - Q\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{Q-1} + (Q-1)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^Q}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^Q\right)} \right] \\ \bar{n}_s = \frac{\lambda}{\mu} \left[\frac{1 - (Q+1)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^Q + Q\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{Q-1}}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{Q-1}\right)} \right] & P_n = \left[\frac{1 - \frac{\lambda}{\mu}}{1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{Q-1}} \right] \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \end{cases}$ |
| Model 4 | $\begin{cases} \bar{n}_1 = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \lambda^2 \sigma^2}{2\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)} & \bar{i}_1 = \frac{\frac{\lambda}{\mu^2} + \lambda \sigma^2}{2\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)} \\ \bar{n}_s = \bar{n}_1 \frac{\lambda}{\mu} & \bar{i}_s = \bar{i}_1 \frac{1}{\mu} \end{cases}$ |

$$\text{Model 5} \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{n}_1 = \frac{K+1}{2K} \cdot \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} \\ \bar{n}_1 = \bar{n}_1 + \frac{\lambda}{\mu} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \bar{i}_1 = \frac{K+1}{2K} \cdot \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \\ \bar{i}_1 = \bar{i}_1 \cdot \frac{1}{\lambda} \end{array}$$

$$\text{Model 6} \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{n}_1 = \frac{\lambda \mu \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^M}{(M+1)!(M\mu-\lambda)^2} P_0 \\ \bar{n}_1 = \bar{n}_1 \cdot \frac{\lambda}{\mu} \\ P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{M-1} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^M}{M! \left(1 - \frac{\lambda}{\mu M} \right)}} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \bar{i}_1 = \frac{P_0}{\mu M M! \left(1 - \frac{\lambda}{\mu M} \right)^2} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^M \\ \bar{i}_1 = \bar{i}_1 \cdot \frac{1}{\mu} \\ P_M = \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^M \frac{P_0}{M! \left(1 - \frac{\lambda}{\mu M} \right)} \end{array}$$

This is a finite queuing situation that is most easily solved by using finite tables. These tables, in turn, require the manipulation of specific terms (see Exhibit 9.9 for notation)

$$\text{Model 7} \quad \left\{ \begin{array}{l} X = \frac{T}{T+U} \quad H = FN X \quad L = N(1-F) \\ P_n = \frac{N!}{(N-n)!} X^n P_0 \quad J = NF(1-X) \\ W = \frac{L(T+U)}{N-L} = \frac{LT}{H} \quad F = \frac{T+U}{T+U+W} \\ n = L + H \end{array} \right.$$

1- كفاءة آلة الصرف:

$$P = \frac{\lambda}{\mu}$$

حيث:

λ معدل انتظار الزبون

μ معدل خدمة الزبون.

p كفاءة آلة الصرف.

$$P = \frac{15}{20} 75\%$$

2- متوسط عدد الزبائن في خط الانتظار (الجدول 12.2 - 12.3)

$$\begin{aligned} \bar{n}_L &= \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \\ &= \frac{(15)^2}{20(20 - 15)} = 2.25 \quad \text{زبون} \end{aligned}$$

3- عدد الزبائن في المنظومة:

$$\begin{aligned} \bar{n}_s &= \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \\ &= \frac{15}{20 - 15} = 3 \quad \text{زبائن} \end{aligned}$$

4- متوسط زمن الانتظار في خط الانتظار:

$$\begin{aligned} \bar{i}_e &= \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \\ &= \frac{15}{20(20 - 15)} = 0.15 \quad \text{ساعة} \end{aligned}$$

5- متوسط زمن الانتظار في المنظومة:

$$\bar{i}_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

$$= \frac{1}{20 - 15} = 0.2 \text{ ساعة}$$

وبما أن المساحة المتاحة في صالة المصرف للانتظار محدودة وحتى يتوفر مستوى جيد من الخدمات المصرفية المتعارف عليها. عليه رأيت الإدارة لتأكد من تحقيق هذا الغرض بنسبة لا تقل عن 95% من الثقة بمعنى أن عدد الزبائن في المنظومة لا يزيد عن 3 زبائن في لحظة زمن محددة. وبذلك فإن مستوى الخدمات لـ 3 زبائن أقل ما يمكن تحديده على النحو الآتي:

$$P_n = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$$

$$P_0 = (1 - 15/20) (15/20)^0 = 0.250 \quad \text{عند } n = 0$$

$$P_1 = (1 - 15/20) (15/20)^1 = 0.188 \quad \text{عند } n = 1$$

$$P_2 = (1 - 15/20) (15/20)^2 = 0.141 \quad \text{عند } n = 2$$

$$P_3 = (1 - 15/20) (15/20)^3 = 0.106 \quad \text{عند } n = 3$$

المجموع 0.685 أو 68.5%

وهذا يعني أن احتمال تواجد أكثر من 3 زبائن في النظام يساوي

$$(1 - 0.685) = 31.5\%$$

ولتحقيق أن 95% لا تزيد عن الزبائن في النظام أكثر من 3

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 95\%$$

وللتعويض عن هذه الاحتمالات

$$0.95 = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^0 + \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^1 + \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3$$

$$0.95 = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) + \left[1 + \frac{\lambda}{\mu} + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3\right]$$

ويمكن حل هذه المعادلة بواسطة وضع قيم فرضية لـ λ و μ حتى يحصل التساوي في طرفي المعادلة.

$$\begin{array}{ll} \frac{\lambda}{\mu} = 0.5 & ? \\ 0.95 = 0.5 (1 + 0.5 + 0.25 + 0.125) & \\ 0.95 \neq 0.9675 & \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \frac{\lambda}{\mu} = 0.45 & ? \\ 0.95 = (1 - 0.45) (1 + 0.45 + 0.203 + 0.091) & \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \frac{\lambda}{\mu} = 0.47 & ? \\ 0.95 = (1 - 0.47) (1 + 0.47 + 0.221 + 0.104) & \\ 0.95 \neq 0.95135 & \end{array}$$

وعليه فإن كفاءة استخدام النظام P تساوي 47٪ بحيث تحقق احتمال أن 3 زبائن في النظام يكون نسبة 95٪ ثقة.

$$0.47 = \frac{\lambda}{\mu} \Rightarrow \mu = 32 \text{ ساعة}$$

نمط رقم (2):

شركة مساهمة تقوم بإدارة محطة وقود ومحطة غسيل وتشحيم سيارات خلال عدة مناطق في الجماهيرية الليبية، وتعتمد هذه الشركة في سياساتها الاستثمارية إعطاء غسيل مجاني في حالة تعبئة السيارة بالكامل بالوقود. وفي حالة غسل يدفع الزبون 5000

درهم، علماً بأن الفائدة الموقعة من تعبئة سيارة بالكامل 7000 درهم وتكلفة غسيل السيارة الواحدة 1000 درهم، وتمتد ساعات العمل بالشركة حوالي 14 ساعة يومياً.

وتحتوي المحطة الواحدة على ثلاث وحدات غسيل. الوحدة الأولى تقوم بغسيل السيارة الواحدة في خمس دقائق ويمكن تأجيرها 12000 درهم في اليوم، والوحدة الثانية تقوم بغسيل السيارة في كل 4 دقائق، ويكلف إيجارها 16000 درهم في اليوم. والوحدة الثالثة تقوم بتغسيل السيارة في كل 3 دقائق، ويكلف إيجارها 22000 درهم في اليوم.

ومن خلال الإحصائيات تبين أن الزبون لا يستطيع أن ينتظر أكثر من 5 دقائق في خط الغسيل. ومتوقع نسبة وصول الزبائن إلى المحطة 10 / ساعة. ما هي المحطة التي يجب اختيارها للإيجار.

الحل:

بناء المعادلات الواردة في الجدول (12.4):

الوحدة رقم (1) $\mu = 12$

$$\bar{t}_L = \frac{\lambda}{2\mu(\mu - \lambda)} = \frac{10}{2(12)(12 - 10)} = 0.208 \text{ hr (ساعة)}$$

الوحدة رقم (2) $\mu = 15$

$$\bar{t}_L = \frac{10}{2(12)(12 - 10)} = 0.267 \text{ hr (ساعة)}$$

إذا اعتبرنا أن زمن الانتظار كمواصفات قياسية للمفاضلة فإن الوحدة رقم (2) أجدر بالاختيار.

أما الوحدة رقم (1) حيث دقائق $5 = \lambda$ فإن متوسط طول خط الانتظار للزبائن وذلك بحل المعادلة أعلاه لحساب λ (معدل وصول الزبائن).

$$\bar{t}_L = \frac{\lambda}{2\mu(\mu - \lambda)}$$

$$\lambda = \frac{2\bar{t}_L\mu^2}{1 + 2\bar{t}_L\mu}$$

$$\lambda = \frac{2(1/12)(12)^2}{1 + 2(1/12)(12)} = 8 \text{ زبون/ الساعة}$$

وبما أن القيمة التقديرية الأولى لـ $\lambda = 10$ / ساعة وهذا يعني أن المحطة سوف تحضر عدد 2 زبون في الساعة وهو يعزز الإجابة الأولى.

نمط (3)،

مصنع أعلاه الحيوانات، يستوعب خط لتعبئة سيارات النقل الخفيفة 4 سيارات بها في ذلك السيارة التي تحت التعبئة. معدل متوسط وصول السيارات إلى المصنع من مختلف جمعيات مربى الحيوانات 40 سيارة في الساعة. ومعدل تعبئة السيارة آلياً 40 سيارة/ ساعة. ومتوسط الربح في العبوة الواحدة 1/2 دل. (السعر مدعوم). ويمكن إيجار محطة انتظار السيارة بجانب المصنع بمعدل 5 دل./ اليوم، ويعمل المصنع على وريدين بمعدل 14 ساعة يومياً. إذا فرضنا أن توزيع الوصول (Poisson) وتوزيع تقديم الخدمة (Exponential). هل تنصح بإيجار المحطة التي داخل المصنع وكم يكون سعته؟

الحل:

بالنظر إلى معادلات نمط (3) في الجدول (12.4).

فإن احتمال أن الإنتاج تحت التعبئة يعطي بالمعادلة التالية:

$$P_n = \left[\frac{1 - \frac{\lambda}{\mu}}{1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{Q+1}} \right] \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$$

للاحتمال أن لا توجد سيارات نقل خفيف في المنظمة عند $q = 4$

$$P_n = \left[\frac{1 - \frac{\lambda}{\mu}}{1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{Q+1}} \right] \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$$

$$P_n = \left[\frac{1 - \frac{40}{50}}{1 - \left(\frac{40}{50}\right)^5} \right] (1) = 0.298$$

∴ إن عملية التعبئة مشمرة

$$1 - 0.298 = 0.702 \text{ أو } 70.2\%$$

وعندما يكون قراج (محطة السيارة واحد مؤجرة) ($Q = 4+1$)

$$P_n = \left(\frac{0.2}{1 - \left(\frac{40}{50}\right)^6} \right) = 0.271$$

عندما تكون الخدمة بداية $(1 - 0.271) = 0.729$

$$0.271 - 0.702 = 2.8\% \quad \text{أي بزيادة}$$

$$0.028(50 \frac{\text{سيارة}}{\text{المساعة}} \times 14 \frac{\text{ساعة}}{\text{اليوم}} \times \frac{0.5}{\text{السيارة}}) = 9.50 \text{ L.D}$$

عندما يريد تأجير لسيارتين

$$Q = 4 + 2 = 6$$

$$P_0 = \left(\frac{0.2}{1 - \left(\frac{40}{50}\right)^7} \right) = 0.253$$

واحتمال أن مكان التعبئة مشغول

$$1 - 0.253 = 0.747 \text{ أو } 74.7\%$$

ويمكن أن نلاحظ التغير الذي يحصل وفقاً لزيادة إيجار المحطة.

ويمكن معرفة عدد السيارات في النظام، والتي تشمل الموجودة في الخط وتحت التعبئة بالإضافة إلى تأجير لمكان سيارتين في محطة المصنع.

$$\bar{n}_s = \frac{\lambda}{\mu} \left(\frac{1 - (Q+1)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^Q + Q\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{Q+1}}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)^{Q+1}} \right)$$

$$\bar{n}_s = \frac{40}{50} \left(\frac{1 - (6+1)\left(\frac{40}{50}\right)^6 + 6\left(\frac{40}{50}\right)^7}{\left(1 - \frac{40}{50}\right)\left(1 - \frac{40}{50}\right)^7} \right)$$

$$\bar{n}_s = 2.15 \text{ سيارة}$$

المعادلة (4)،

حلاق يستغرق 15 دقيقة لقصر شعر أي زبون. يصل الزبائن إلى دكان الحلاقة على توزيع Poisson بمتوسط نسبة الواصلين 2/ الساعة. فإذا فرضنا أن لك موعد

بعد وصولك دكان الحلاقة بعد زمن قدره 30 دقيقة. وأن بعد مكان الموعد التي بعد الحلاقة يستغرق 3 دقائق مشياً. وأن زمن قص الشعر يخضع لتوزيع Erlang dist. حيث $k = 3$. هل تتوقع أنك تصل موعدك في الوقت المناسب؟

الحل:

إذا علمت أن:

$$\mu = 4, \lambda = 2$$

∴ المشكلة هي حساب الزمن المتوقع الذي يقضيه الزبون في المنظمة (\bar{i}_s)

$$\bar{i}_s = \frac{k+1}{2k} \cdot \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} + \frac{1}{\mu}$$

بالتعويض في المعادلة وفق الجدول لنمط (5)

$$\bar{i}_s = \frac{3+1}{2(3)} \cdot \frac{2}{4(4-2)} + \frac{1}{4}$$

$$\bar{i}_s = \frac{5}{12} \text{ ساعة أو } 25 \text{ دقيقة}$$

وبناء على ذلك من الممكن أن تعمل موعد آخر بعد الحلاقة. لأنك تحتاج إلى 30 دقيقة من بداية الحلاقة إلى وصولك إلى موعدك وأن $25 < 30$

12.5 مسائل:

- 1- هل يمكن استخدام نظام خطوط الانتظار في إخراج المواقع الصناعية؟
- 2- ما الفرق ما بين مناة ومرحلة.
- 3- ما هي الفرضيات والمعطيات التطبيق نموذج رقم (1).

- 4- متى يجوز استخدام طريقة (FcFs) أعطي أمثلة تطبيقية في الصناعة.
 - 5- هل توقع استخدام توزيع الأسّي في أنواع الخدمات التالية:
 - أ - شراء تذاكر خطوط الطيران.
 - ب - الخروج أو المغادرة من الفندق.
 - ج - الانتهاء من امتحان الفترة الثانية في مادة دراسية ما.
 - 6- محطة غسيل وتغيير زيوت محركات السيارات، تقدم الخدمات للمواطنين كل يوم، ومعدل وصول الزبائن $3/$ الساعة، وتقدم الخدمات بمعدل 15 دقيقة، وتتم الخدمات بواسطة الفنيين لكل سيارة تأتي أولاً ... الخ. فإذا فرضنا أن الوصول يتم وفق توزيع (Poisson) وأن الخدمات تتم وفق توزيع (Exponential). أحسب:
 - أ - كفاءة تقديم الخدمات.
 - ب - عدد السيارة في خط الانتظار.
 - ج - الزمن اللازم لانتظار السيارة قبل موعد تقديم الخدمة.
 - د - مجموع الزمن التي تأخذها السيارة في المنظومة (خدمات + انتظار).
 - 7- تشاركية مواد تموينية تقوم بتقديم الخدمات إلى جامعة ما بواسطة الآلات الأتوماتيكية للحصول على المشروبات والفواكه وبعض المرطبات. نظراً لطبيعة المستهلكين (الطلاب) وعدم اهتمامهم بحسن استعمال هذه الآلات والتي تتطلب صيانة دورية للآلات. وجد أن معدل حدوث العطل في الآلات $3/$ الساعة. وحيث أن الأعطال تقع تحت التوزيع Poisson. وأن تكلفة حصول العطل تساوي 25 ديكار/ الساعة/ الآلة. وأن تكلفة ساعة فني الصيانة 4 د.ل وأن متوسط صيانة الآلات بواسطة فني واحد $5/$ الساعة حسب التوزيع (Exp)، وأن العدد اللازم من مشرفي الآلات 2 لكل 7 آلات/ ساعة. وأن مشرفي الآلات 3 لكل 8 آلات/ الساعة.
- ما هو الحد الأدنى من المشرفين (الفنيين) اللازم لصيانة الآلات الدورية يومياً لأقل تكلفة ممكنة؟

8- في الحالات التالية عرف مكونات نظام الانتظار (الزبون) نوع الخدمة، تصميم مكان الخدمة، أهداف الخدمة، عدد فئة الزبائن محدود أو غير محدودة ... الخ).

أ - طابور الزبائن في إحدى الأسواق العامة.

ب - طابور العربات في إشارة المرور.

ج - عيادة خارجية لمعالجة الزبائن.

د - المسافرين على إحدى رحلات الخطوط الجوية.

هـ - مركز استخدام الحاسب الآلي في إحدى الجامعات.

و - طرف أوتوماتيكي يعمل لمدة 24 ساعة.

9- زبون يصل مكان الخدمة تباعاً إلى توزيع Poisson بمعدل قدره 2 / الساعة. أوجد:

أ - متوسط عدد الزبائن يصلون في مدة 8 ساعات.

ب - احتمال أن زبون واحد يصل خلال ساعة على الأقل.

10- إذا علمت أن الواصلين في خط خدمة مفردة في منظومة الانتظار يحصل وفقاً إلى

توزيع Poisson بمتوسط قدره 5 / الساعة. أما توزيع تقديم الخدمة فهو يخضع

لتوزيع المنتظم الآتي:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{10} & 5 \leq x \leq 15 \\ 0 & \text{غير ذلك} \end{cases}$$

أحسب ما يلي:

أ - احتمال أن منظومة الانتظار مشغولة.

ب - عدد الزبائن المتوقع في المنظومة.

ج - الزمن المتوقع انتظاره في خط الانتظار.

الفصل الثالث عشر

المحاكاة

يناقش هذا الفصل علم المحاكاة، كمفهوم
والهدف وتطبيقات، بالإضافة إلى تسليط الضوء
على أشكال المحاكاة وتسلسل عملياتها.

منتدی سور الازبکیہ

WWW.BOOKS4ALL.NET

<https://twitter.com/SourAlAzbakya>

13

الفصل الثالث عشر

المحاكاة

Simulation

13.1 مقدمة:

المحاكاة وهي نمذجة تُختبر سلوكياته خلال فترة زمنية معينة. أو هي القدرة على اختيار أي نظام من خلال متغيراته بدون التطبيق المباشر. ويتميز علم المحاكاة باختيار المنظومات بدون مخاطرة وبأقل تكلفة ممكنة وبأكبر أمان من اختبار النظام المباشرة ويمكن التعبير عن المنظومات الفعلية ودراسة التغيرات التي تحدث فيها بواسطة نماذج وأنماط وقوانين رياضية والتي تعكس نتائج المنظومات الفعلية. والمحاكاة هي أيضاً عبارة عن تجربة إحصائية تخضع للتحليل الإحصائي والاختبارات الاحتمالية.

12.3 أهداف تطبيقات المحاكاة:

تستخدم المحاكاة في تحليل المشاكل العملية التي تنحصر في نوعين:

1- مشاكل نظرية في العلوم الأساسية مثل الرياضيات والفيزياء والكيمياء، وتشتمل

على:

- أ- تقدير مساحة منحنى.
- ب- معكوس المصفوفة.
- ج- تقدير قيمة $(\pi = 3.1414)$ في الرياضيات.
- د- حل مسألة حركة جزئيات في مستوى.
- هـ- دراسة حركة جزئيات في مستوى.
- و- حل معادلات أنيا في الجبر.

2- مشاكل عملية في الحياة الفعلية:

- أ - محاكاة لمشكلة صناعية (مثل تصميم عمليات كيميائية، نظم التخزين والتحكم فيه، تصميم منظومة توزيع، تخطيط الصيانة، تصميم نظام الطوابير، تخطيط الإنتاج المستمر، تصميم منظومة معلومات واتصالات).
- ب- محاكاة لمشكلة تجارية واقتصادية (تشغيل وإدارة الشركات) سلوك المستهلك، تحديد الأسعار، الحسابات، عمليات التسويق، دراسة الاقتصاد العام، التضخم، الإنتاجية ... الخ.
- ج- المشاكل الاجتماعية (مثل حركة ونمو السكان، التطور الاجتماعي ... الخ).
- د- محاكاة منظومات تركيب الإنسان وحركته الطبية (مثل سير الدم، والماء، توزيع الجهد في جسم الإنسان، نمذجة الدماغ ... الخ).
- هـ- محاكاة الحروب البرية والجوية والبحرية والحرائق .. والأشياء المفاجأة.

13.3 خطوات تطبيق المحاكاة:

1- تعريف المشكلة:

يقصد بتعريف المشكلة تحديد الهدف من الدراسة وما هو المطلوب.

2- تحليل التكاليف والفوائد:

بما أن دراسة المحاكاة مكلفة عليه يستوجب دراسة التكاليف المناسبة والفوائد المتوقعة من الدراسة.

لأن طرق تنفيذ المحاكاة تختلف من سريع إلى أسرع ومن مكلف إلى أكثر تكلفة.

3- اختصار النظام الحقيقي إلى نموذج (Short coding the model)

النظام الحقيقي الذي سوف يحول إلى نموذج. فمثلاً الزبون الذي يستخدم طرف في مصرف تجاري، النشاط الذي يقوم به الزبون (سحب مبالغ من حسابه - إيداع -

تعاملي تجاري، ... الخ) إيجاد علاقة رياضية لدرجة وصول الزبون - مدة الخدمة التي تقدم له .. ومواصفات أخرى.

4- تحويل النموذج إلى لغة الحاسوب (Code the model):

للاستخدام الحاسوب، يجب أن تحول كل المعلومات الواردة في النموذج إلى لغة الحاسوب والتي يمكن التعامل معها مثل لغة محاكاة الحاسوب (Subscript Dynamic Gpss). حيث أن هذه اللغات طورت لاستخدامها في المحاكاة.

5- تحقيق نتائج النموذج (Validate the Model):

إذا لم تعطي نتائج النموذج نتائج مكافئة ومساوية للنتائج المتوقعة في النظام الحقيقي فإن نظام المحاكاة يعطي إجابة خاطئة ويقصد بالتحقيق (Validation) الوصول إلى نتائج لها درجة عالية من الواقعية إذا لم تكن مطابقة للحقيقة.

6- التخطيط لإجراء التجربة (Plan the Experiment):

إن تصميم التجربة الناجمة يوفر خطة قوية لتعزيز النتائج المرجوة والتي يعتمد عليها في اتخاذ القرارات؟

7- عقد الدراسة وتجميع المعلومات (Conduct the study and collect data):

يعتبر نوع المعلومات المجمعة معتمداً على أهداف الدراسة ونوع التحليل المعقود.

8- تحليل المعلومات وإصطاء النتائج (analyze Data and Draw Conclusions)

9- توثيق للمعلومات وتنفيذ النتائج (Document and implement the findings)

13.4 أشكال للمحاكاة:

1- النموذج المماثل (Analogue model):

يعتبر النموذج المماثل من المحاولات الأولى في استخدام علم المحاكاة، فعلى سبيل

المثال نموذج القياس الفيزيائي باستخدام نماذج ميكانيكية، كهربائية أو هيدروليكية، ولحد الآن مازالت هذه الأنواع من النماذج مستخدمة في حالات خاصة. وفي السنوات الأخيرة بدأ استبدالها بنماذج المحاكاة بواسطة لغة الحاسوب.

2- مونت كارلو (Mote Carlo Simulation):

أحد أشكال تحليل المحاكاة والذي يستخدم الأرقام العشوائية لتحقيق قيم إحصائية لتغيرات النظام. إن مونت كارول طريقة ذات خطوط محددة كلاسيكية الاستخدام. وهي طريقة تعتمد على أخذ العينات من نظام حقيقي.

3- للمحاكاة بالحاسوب (Computer Simulation):

في نظم المحاكاة فإن أي رقم عشوائي من أي عينة وفقاً لأي توزيع يعتمد على استخدام المجال (1,0)، وقبل اختيار عدد العينات التي تؤخذ للدراسة يجب أن تخضع للشروط الآتية:

- أ - كل القيم محصورة في الفترة [1,0] ولهن فرصة متساوية لحدوث أي احتمال، بمعنى آخر توزيعها منتظم (Uniform distribution).
- ب- الأرقام المختارة للدراسة محصورة في الفترة [1,0] وتحت اختيار عشوائي. وبمعنى آخر غير معتمدة على بعضها في عملية الاختيار.

مثال 13.1:

إذا فرضنا أن الخدمات التي تقدم في إحدى محطات الوقود عند t وتخضع للتوزيع الأسّي بمعدل خدمة قدرها μ لكل وحدة زمن. وأن دالة احتمال التوزيع (PDF) (Probability distribution function)

$$f(t) = \mu e^{-\mu t}, t > 0$$

فإن

$$f(t) = \int_0^t \mu e^{-\mu x} dx = 1 - e^{-\mu t}$$

فإذا كان المدى (R) يكون (1, 0) وبوضع $f(t) = R$ نحصل على الآتي:

$$R = 1 - e^{-\mu t}$$

ومنها:

$$t = \frac{1}{\mu} \ln(1 - R) = -\frac{1}{\mu} \ln R$$

13.5 إيجاد متغيرات عشوائية بواسطة توزيع الاحتمالات:

13.5.1 التوزيع المنتظم (The uniform distribution)

لو فرضنا أننا نريد أن نحاكي التوزيع المنتظم الذي يمثل بالدالة التالية:

$$f(x) = \frac{1}{4} \quad 3 \leq x \leq 7;$$

$$f(x) = 0 \quad \text{غير ذلك}$$

$$\therefore f(x) = \int_0^x \frac{1}{4} dt = \frac{t}{4} \Big|_3^x = \frac{1}{4}x - \frac{3}{4}$$

ويمكن الحصول على أرقام عشوائية ما بين (0, 1)

فإذا فرضنا أن $f(x) = r$

$$x = 4r + 3$$

وعند استخدام الأرقام العشوائية في الجدول (13.1) نحصل على الآتي:

جدول (13.1)

| Y | X |
|-------------|----------|
| 0.062041502 | 3.2616 |
| 0.392403 | 4.56961 |
| 0.7658045 | 6.06321 |
| 0.06319117 | 3.252764 |

13.5.2 التوزيع الأسّي Exponential Distobution

$$f(x) = \frac{1}{\Theta} e^{-x/\Theta} \quad 0 \leq x \leq \infty$$

$$f(x) = \int_0^x \frac{1}{\Theta} \cdot e^{-t/\Theta} dt$$

$$f(x) = e^{-x/\Theta} \Big|_0^x = 1 - e^{-x/\Theta}$$

فإذا استبدلنا x بـ r

$$r = 1 - e^{-x/\Theta}$$

$$e^{-x/\Theta} = 1 - r$$

خذ \log للطرفين

$$-\frac{x}{\Theta} \ln e = \ln(1 - r)$$

$$x = -\Theta \ln(1 - r)$$

فإن إذا $\frac{1}{4} = \Theta$

$$f(x) = 4e^{-x} \quad 0 \leq x \leq \infty$$

وباستخدام الجدول 13.2

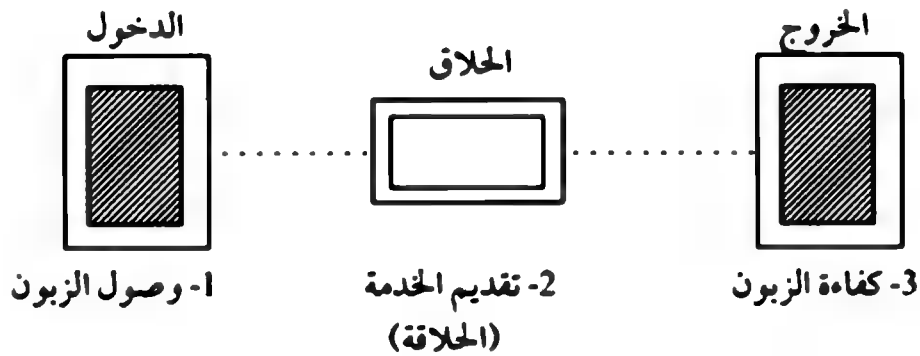
جدول (13.2)

| r | $\ln(1+r)$ | $x = -\frac{1}{r} \ln(1-r)$ |
|---------|------------|-----------------------------|
| 0.0654 | 0.06764 | 0.01691 |
| 0.3924 | 0.49824 | 0.12456 |
| 0.7658 | 1.45158 | 0.36289 |
| 0.06319 | 0.06527 | 0.01632 |

13.6 مثال تطبيقي للمحاكاة:

يفرض هذا النموذج أن زبون يصل إلى كرسي حلاق سعته كرسي واحد، يقدم له الخدمات (قص شعر) تحت نظام الذي يصل الأول تقدم له الخدمة أولاً، ثم يغادر الحلاق. وفترة الزمن بين الزبائن تخضع للتوزيع المنتظم خلال فترة زمنية محدودة 24 ± 6 دقيقة. زمن تقديم الخدمة يخضع للتوزيع الأسّي بمعدل 20 دقيقة للزبون.

النموذج



وتحل المسألة بواسطة استخدام برنامج بالحاسب الآلي كالآتي:

جدول (13.1) Program Details

1. DEFINITION

| | |
|-------------------------|---|
| O=(BARBER) | : background file name is BARBER, OL Y |
| @QUEUE=(O) | : record the number of customers in queue |
| % ARR = (0) % SER = (0) | : random interarrival/service time |
| % M ARR = (24:0) | : mean/deviation of interarrival time |
| % D ARR = (6:0) | |
| % M SER = (20:0) | : mean value of service time |
| % MOVE = (0:30) | : move delay time |
| * ARRIVE = (XY(12,11)) | : arrival/service/leaving screen locations |
| *BARER:=(XY(38,11)) | |
| *LEA VE = (XY(41,6)) | : location for displaying value of queue length |
| J = (1,*1,0,0,1,500) | :customers routing, total 500 customers |
| U = (1,BARBER, *BARBER) | :count utilization of the barber |

2. ROUTINGS

| | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| BR(1, * ARRIVE,%ARR) | : 1. CUSTOMERS ARRIVE |
| RV(U,%ARR, %M ARR, %DARP) | : generate random interarrival time |
| IV(@QUEUE) | : queue length increases 1 |
| FV(*Q DISP,@QUEUE) | :display queue value |
| MR(23,%MOVE) | : move toward barber to get service |
| MR(*BARBER,O) | : 2. CUSTOMERS TAKE HAIRCUT |
| DV(@QUEUE) | : queue length decreases 1 |
| PV(*Q DISP, @QUEUE) | :display queue value |
| RV(E,%SER,%M SER) | :take a hair-cut time |
| WT(%SER) | |
| MR(25,%MOVE) | : 3. CUSTOMERS LEAVE |
| MA(*LEA VE,O) | : leave barber shop |
| ER | |

A: Courtesy of Mr Sun Zhi, formerly of Manufacturing and Engineering Systems, Brunel University

13.7 أنواع المحاكاة بالحاسوب:

1- المحاكاة المستمرة (Continuous simulation):

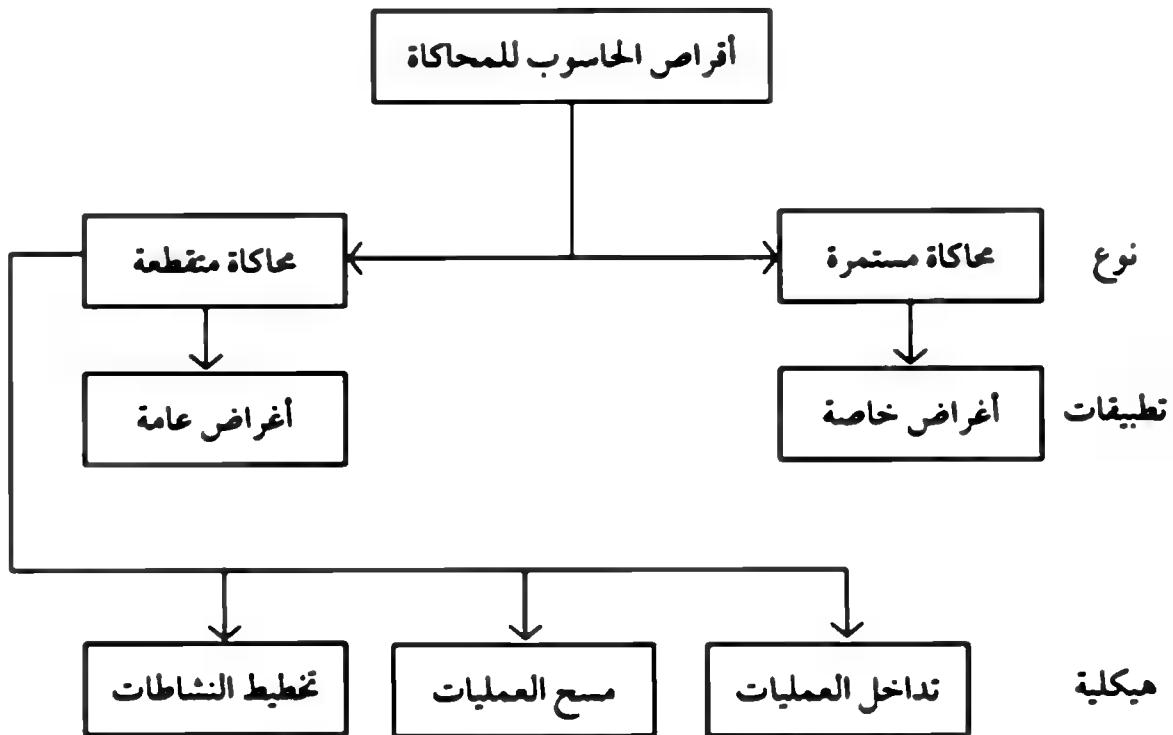
إن نُظَم المحاكاة المستمرة تمثل بواسطة متغيرات تتغير باستمرار خلال الزمن والتي يمكن استخدامها في اختيار نظام ديناميكي.

2- المحاكاة القطعية (Discrete simulation):

إن نُظَم المحاكاة المستمرة تمثل بواسطة متغيرات تتغير باستمرار خلال الزمن والتي يمكن استخدامها في اختيار نظام ديناميكي.

ويمكن تصنيف أنواع طريقة حساب المحاكاة وتطبيقاتها وتركيبها كما هو في الشكل

13.1.



شكل (13.1) تصنيف نظم الحواسيب للمحاكاة

13.8 مثال تطبيقي:

ترغب شركة الأعلاف بأمانة الثروة الحيوانية في تحديد موقع صومعة لتخزين الحبوب الموردة من مختلف المناطق الزراعية بمنطقة فزان. والمطلوب معرفة السعة اللازمة للصومعة وكم عدد الشاحنات التي يجب أن ترسل يومياً لتصدير الحبوب إلى الشمال، وعلى أمانة الزراعة معرفة كميات الحبوب الموردة يومياً بالأطنان من المزارعين في فصل جني الحبوب، عليه ترغب أمانة الزراعة في دراسة لمحاكاة الواقع الفعلي المتوقع لمعرفة عدد الشاحنات المطلوب وصولها يومياً لتعبئتها - والنموذج الموضح بالشكل 12.3 يوضح تسلسل العمليات المطلوبة.

ولحل هذه المشكلة استخدم طريقة مونتى كارو لاختبار عدد الشاحنات التي تصل من الشمال في كل ساعة وكذلك استخدمت في اختيار كميات الحبوب التي توضع في شاحنة.

إن احتمال 0.10 لوصول شاحنة واحدة. خلال ساعة

إن احتمال 0.60 لوصول شاحنة واحدة. خلال ساعة

إن احتمال 0.30 لوصول ثلاث شاحنات. خلال ساعة

وهذه الاحتمالات دونت في الشكل 13.3 ، علماً بأن عدداً مكوناً من رقمين قد أُختير كرقم عشوائي.

فمثلاً:

الرقم من 00 وحتى 09 احتمال وصول شاحنة واحدة في الساعة.

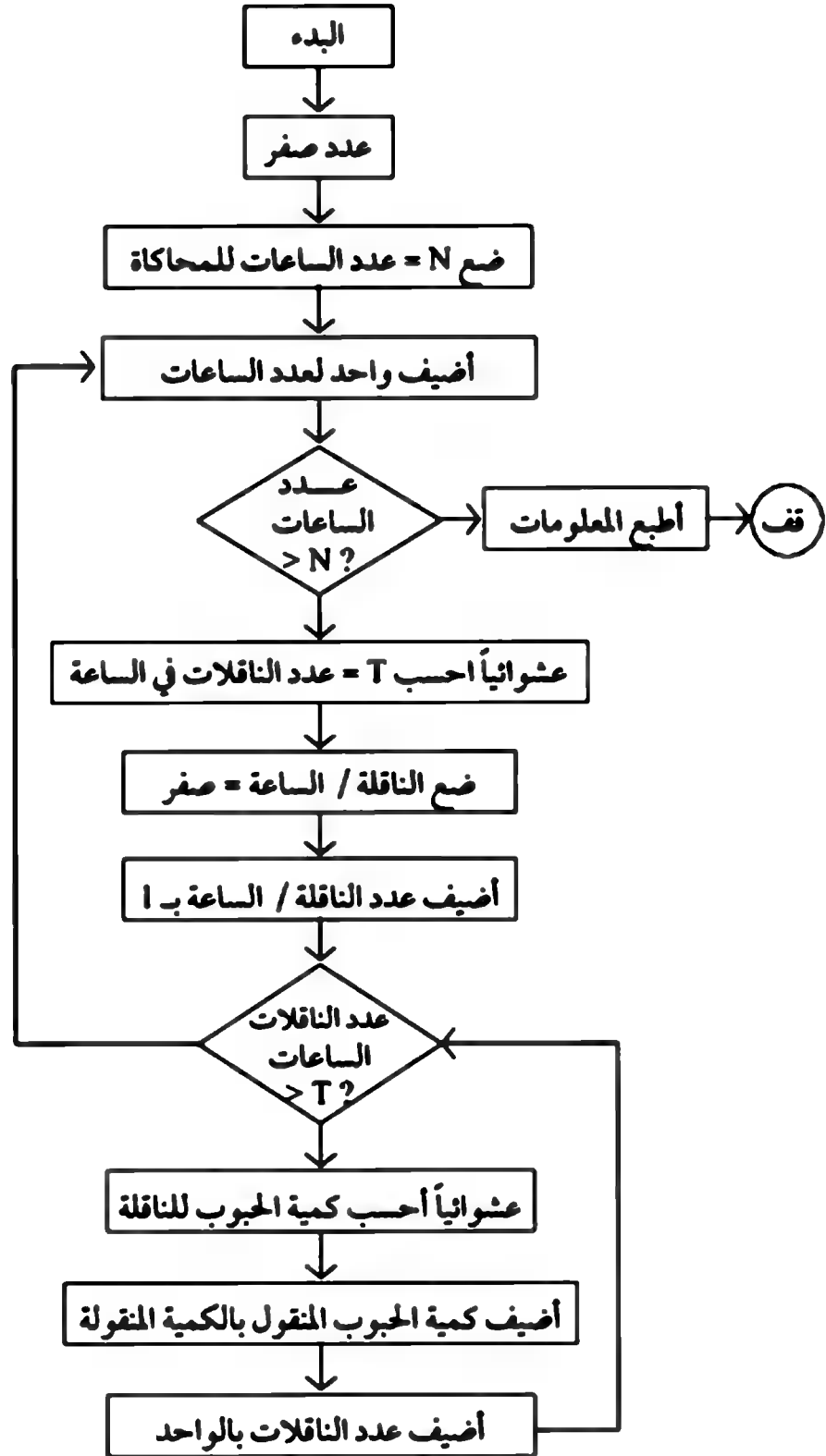
الرقم من 10 وحتى 69 احتمال وصول عدد 2 شاحنة.

الرقم من 70 وحتى 99 احتمال وصول عدد 3 شاحنة.

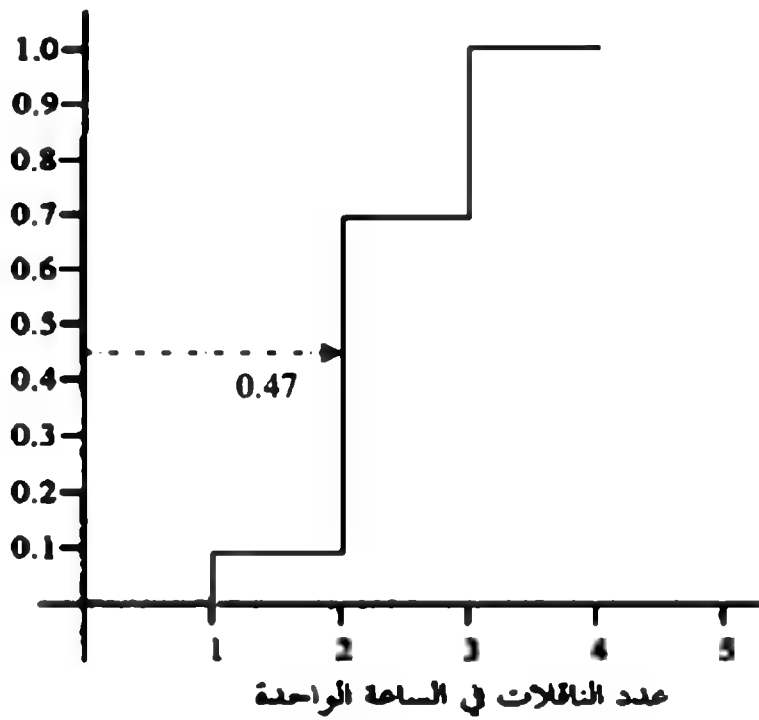
وبناءً على اختيار هذه الأرقام يمكن تحديد عدد الشاحنات التي تصل في الساعة عشوائياً.

السؤال الثاني الذي يجب الإجابة عليه هو: ما كمية الحبوب التي يجب أن تحملها كل شاحنة أو شاحنة بالمقطورة؟ من المعروف بأن الكمية التي يمكن أن تشحن متغيرة باستمرار ما بين 50 إلى 350 طن. وتوزيع الاحتمال المركب (Cumulative prob. distribution) لكميات الحبوب المشحونة بواسطة الناقل موضحة بالشكل (13.4).

فلو لاحظت المنحنى ينخفض ما بين 250 إلى 300 طن. وهذا يعني أن حمولة الشاحنة تقع في هذا المجال. فمثلاً لو أخذنا أول رقم عشوائي وليكن 38 فإن أول شاحنة تأخذ 230 طن. ولو أخذنا رقم عشوائي وليكن 67 فإن الشاحنة الثانية تحمل 280 طن. فإن خلال محاكاة الساعة الأولى نلاحظ أن الصومعة تأخذ 510 طن حبوب.

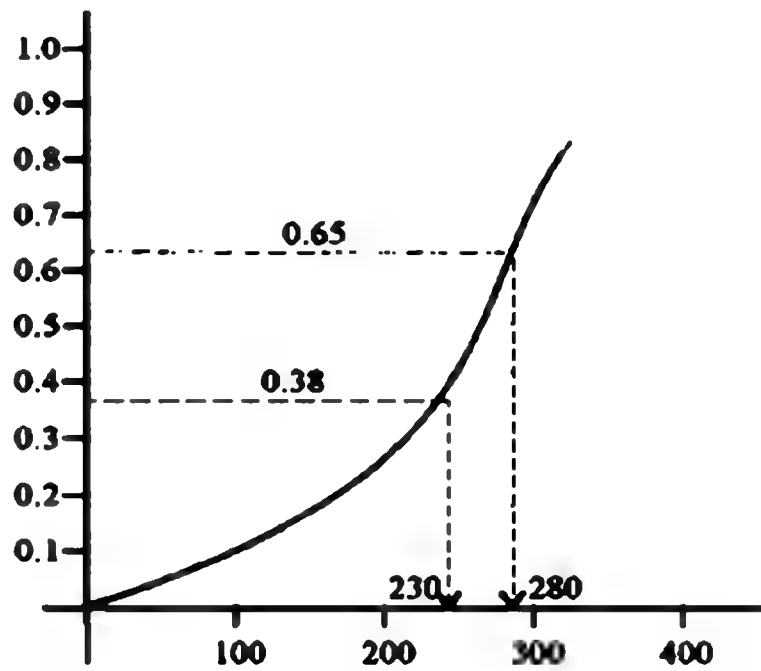


شكل (13.2) تسلسل عمليات المحاكاة لنقل الحبوب



شكل (13.3)

الاحتمال المتراكم



شكل (13.4) كميات الحبوب بالطن في الناقل الواحدة

13.9 تطبيقات المحاكاة

إن تطبيقات المحاكاة واسعة وشاملة لكل العلوم سواء الزراعية، الحكومية، نشاطات عسكرية، التربية والتعليم، الرياضة، الهندسة، العلوم الأساسية، العلوم الاجتماعية، والعلوم التجارية. وعلى سبيل المثال سوف نذكر ذلك ببعض الأمثلة:

- 1- نظام الطوابير، نظام التخزين، تخطيط الإنتاج.
- 2- حساب السعة الاستيعابية من طاقة بشرية ومواد خام.
- 3- استخدام المحاكاة في تنبؤ الأنظمة الحديثة وفائدة التقنية، مثال استخدام الأنومية في المصانع الكبيرة، الأنظمة الإنتاجية المرنة، تصميم أنظمة الإنتاج.
- 4- استخدام المحاكاة في برامج الصيانة الوقائية والفجائية ... الخ.

13.10 مسائل:

- 1- عرف المحاكاة.
- 2- أصف الفوائد المهمة لنظام المحاكاة.
- 3- باختصار أشرح أنواع المحاكاة في المصانع الإنتاجية.
- 4- ذكر وأصف 4 محطات داخل المصانع يمكن استخدام المحاكاة كأداة مفيدة واقتصادية.
- 5- أف باختصار استخدام طريقة المونتي كارو للمحاكاة.
- 6- إذا كانت الطلبية اليومية من منتج ما تخضع إلى كثافة الدالة الاحتمالية التالية:

| الطلبية | 0 | 1 | 2 | 3 |
|----------|-----|-----|-----|-----|
| الاحتمال | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.1 |

باستخدام جداول الأرقام العشوائية. أحسب الطلبية اللازمة لمدة 5 أيام مستقبلية على الأقل.

- 7- إذا كان زمن إعداد الطلبة خلال فترة يوم أو يومان فقط، وفقاً للاحتتمالات المرافقة. فإن الطلبة الموازية هي:

| الطلبة | 0 | 1 | 2 |
|----------|-----|-----|-----|
| الاحتمال | 0.2 | 0.5 | 0.3 |

استخدم جداول الأرقام العشوائية لتنبؤ الطلبة وزمن إعداد الطلبة.

- 8- أوجد القيمة التقديرية باستخدام التكامل للحصول على أول 30 رقم عشوائي في

$$\int_0^1 x^2 dx$$

(ملاحظة: التكامل لـ x^2 في فترة مغلقة $0 \leq x \leq 1$)

- 9- كرر المسألة رقم (9) إذا علمت أن $3 \leq x \leq 5$.

- 10- الجدول التالي يوضح مقدار التغير في عدد الزبائن في خط الانتظار مع العلم بزمن المحاكاة، أحسب:

- أ - نسبة الزمن إن محطة التشغيل فارغة.
 ب - متوسط زمن الانتظار للزبون إذا فرضنا أن مجموع الواصلين 30.
 ج - عدد المنتظرين في خط الانتظار.

| زمن المحاكاة : الساعة | عدد الزبائن المنتظرين |
|-----------------------|-----------------------|
| $0 \leq t \leq 3$ | 0 |
| $3 \leq t \leq 4$ | 1 |
| $4 \leq t \leq 6$ | 2 |
| $6 \leq t \leq 7$ | 1 |
| $7 \leq t \leq 10$ | 0 |
| $10 \leq t \leq 12$ | 2 |
| $12 \leq t \leq 18$ | 4 |
| $18 \leq t \leq 20$ | 1 |
| $20 \leq t \leq 25$ | 0 |

11- إذا كان زمن إعداد الطلبة في نظام التحكم في المخزون لمركز توزيع في إحدى المدن المتوسطة في الجماهيرية العظمى يساوي 1 ، 2 أو 3 أسابيع وفقاً للاحتتمالات المصاحبة في الجدول التالي:

| زمن أعداد الطلبة | نسبة الاحتمال |
|------------------|---------------|
| 1 | 0.35 |
| 2 | 0.40 |
| 3 | 0.25 |

استخدم نظم المحاكاة في تحديد كمية الطلبة التي تحدث لأي مركز توزيع لعدد 20 زمن للإعداد للطلبة - استخدم الاستهلاك الأسبوعي، استخدم رقمين عشريين عشوائية.

الفصل الرابع عشر

نظرية المباريات

يُناقش هذا الفصل مفهوم نظرية المباريات
وتطبيقاتها في اتخاذ القرارات لتحقيق أكبر ربح
ممكن وأقل خسارة ممكنة.

نظرية المباريات Game Theory

14.1 مقدمة:

تفيد نظرية المباريات (Game theory) متخذ القرار الذي يواجهه عند اتخاذ القرار في وجود أطراف متنافسة. أي أن نظرية المباريات تفيد في اتخاذ القرارات في المواقف التي تقسم بتعارض المصالح (عند أي مستوى إداري) والتي يتحدد فيها اختيار متخذ القرار البديل بناء على المواقف المحتملة التي يمكن أن يتخذها المنافس الذي له نفس الظروف.

في نظرية المباريات يشار للخصم (Opponent) باللاعب (Player) وكل لاعب له عدة خيارات محدودة وغير محدودة تسمى إستراتيجية (Strategies). والمخرجات من المباراة يمكن تلخيصها في دوال لعدة استراتيجيات لكل لاعب.

فمثلاً مباراة من لاعبين حيث انتصار أي لاعب وفائده يقدر بخسارة الطرف الثاني. وتسمى المجموع الصغرى لاعبين متقابلين (Two-Person zero-Sum game).

وتتكون أي مباراة من مجموعة من العناصر أهمها ما يلي:

- القوانين والإجراءات التي تحكم المباراة.
- اللاعبون أو متخذي القرارات (المتنافسون).
- إستراتيجية (أو استراتيجيات) كل طرف من أطراف المباراة.
- المعلومات والعوامل والإمكانات المتاحة لكل طرف قبل وأثناء المباراة.

هذا ويمكن تقسيم المباراة من حيث عدد أطرافها إلى مباريات ثنائية ومباريات غير ثنائية (متعددة الأطراف) مما يمكن تقسيمها من حيث نتيجة المباراة إلى مباريات صفرية وأخرى غير صفرية، ولتوضيح هذا التعريف باستخدام المثال التالي:

مثال 14.1:

لتوضيح المباريات الثنائية الصفرية باعتبار استخدام رمي النقود المعدنية والتي أحد المتنافسين يختار أي وجه، فإذا كان اللاعبين 1، ب يختاران (H)، (T) على التوالي (T (Tail)، H (Head).

فإن النتيجة إما H، H أو T، T فإن اللاعب H يربح ديناراً من اللاعب B والعكس صحيح.

وفي هذه الحالة توجد استراتيجيان (T، H) والذي يعطي مصفوفة من نوع 2×2 ويمكن تمثيلها على النحو الآتي:

| | | اللاعب B | |
|----------|---|----------|----|
| | | H | T |
| اللاعب A | H | 1 | -1 |
| | T | -1 | 1 |

الحل الأمثل (Optimum) لهذا النوع من المباريات يستلزم من كل لاعب ليلعب باستراتيجية صافية (T، H) أو إستراتيجية مخلوطة.

14.2 الحل الأمثل للمباريات الثنائية ذات المحصلة الصفرية:

(Optimal solution of two - person zero - sum games)

تعتمد مواصفات الحل لمسائل اتخاذ القرار على مدى توفر المعلومات عن المشكلة. نظرية المباريات تمثل حل للمسائل التي غالباً ما تكون فيها المعلومات محدودة ومتعارضة وينتج عنها عرض لحل مسألة خصمين محصلة نتائجها صفر.

ولإثبات حالة أن كل لاعب يرغب في تحقيق أهدافه على حساب الثاني لابد من نظرية تحقق - الأدنى - الأعظم أو الأعظم والأدنى (Minmax - Maxmin) ولتوضيح هذه الظاهرة تستدل بالمثال التالي:

مثال 14.1:

إذا اعتبرنا المصفوفة التالية والتي تمثل لاعبين A ، B وطريقة حسابات Minmax على النحو الآتي:

| | | اللاعب B | | | | صف الأدنى |
|-------------|---|----------|---|---|----|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| اللاعب A | 1 | 8 | 2 | 9 | 5 | 2 |
| | 2 | 6 | 5 | 7 | 18 | 5 |
| | 3 | 7 | 3 | 4 | 10 | 4 |
| عمود الأعظم | | 8 | 5 | 9 | 18 | |

الأدنى الأعظم

فنعندنا اللاعب يلعب وفق الخطة الأولى فإنه يمكن أن يربح 5 أو 9 ، 2 ، 8 وهذا يعتمد على اختيار خط اللاعب B.

ويمكن أن يضمن على الأقل الآتي:

$$\text{Min} [8 , 2 , 9 , 5]$$

على الرغم من الخطة التي يختارها اللاعب B.

وبالمثل إذا لعب اللاعب A وفق الخطة الثانية فإنه يضمن أن يربح على الأقل الآتي:

$$\text{Min} [6 , 5 , 7 , 18] = 5$$

وإذا لاعب اللاعب A وفق الخطوة الثالثة فإنه يضمن أن يربح على الأقل التالي.

$$\text{Min} [7 , 3 , -4 , 10] = -4$$

وهذا يعني أن أقل قيم يمكن أن يربحها اللاعب في الصفوف هي أقل قيم ممكنة.

عليه فإنه اللاعب A سوف يختار الخطوة الثانية والتي تحقق له أكبر ربح في أقل قيمة متاحة له. وهذا الربح يمكن أن يختار وفق للآتي:

$$\text{Min} [2 , 5 , -4] = 5$$

ويسمى اختيار اللاعب A بخطوة (Maxmin) أو أقل قيمة في المباراة.

ومن جهة أخرى فإن اللاعب B يسعى لتحقيق أقل خسارة ممكنة فإذا اختار الخطوة الأولى فسوف يتحقق أقل خسارة ممكنة على النحو الآتي:

$$\text{Min} [8 , 6 , 7] = 8$$

ويمكن تطبيق نفس الطريقة بالنسبة إلى باقي الخطط الثلاثة فإن النتيجة لكل الخطط هي:

$$\text{Min} [8 , 5 , 9 , 18] = 5$$

ويعتبر اختيار اللاعب B يسمى بالخطوة (Minmax) أو أكبر قيمة في المباراة.

ووفقاً للنتائج المتحصل عليها بالنسبة للاعب A، واللاعب B نلاحظ أن:

$$\text{Minmax value} = \text{Maximin value}$$

$$(5) = (5)$$

ويسمى هذا الحل الأمثل وإذا تلاقي الاثنان عند نقطة واحدة تسمى نقطة التلاقي Szddle point وتكون الاستراتيجية في نقطة واحدة. أي لم توجد نقطة تلاقي تتكون الاستراتيجية في هذه الحالة استراتيجية مختلطة (Mixed).

وبصفة عامة وتحدد قيمة المباراة بشرط تحقيق الشرط التالي:

$$\text{Maximin value} \leq \text{Value of the game} \leq \text{Minimax value}$$

14.3 الخطط المختلطة (Mixed strategies):

في بعض المباريات قد تكون هناك نقطة تلاقي وبالتالي لا تكون هناك استراتيجية مطلقة وتعتبر الاستراتيجية في هذه الحالة استراتيجية مختلطة، أي كل متنافس سوف يختار صف من صفوفه. ولتوضيح الفكرة؛

مثال 14.2:

| | | اللاعب B | | | | القيم الصغرى |
|-------------------|---|---------------------|-----|----|---|--------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| اللاعب A | 1 | 5 | -10 | 9 | 0 | -10 |
| | 2 | 6 | 7 | 8 | 1 | 1 |
| | 3 | 8 | 7 | 15 | 2 | 2 |
| | 4 | 3 | 4 | -1 | 4 | -1 |
| عمود القيم العظمى | | 8 | 7 | 15 | 4 | |
| | | ↑ أصغر قيمة عظمى | | | | |

فإن أصغر قيمة عظمى (Minimax) = 4 وهي أكبر من أعظم قيمة صغرى (Maximin) = 2.

∴ هذه المباراة لا توجد فيها نقطة تلاقي - كذلك الاستراتيجية المطلقة ليست ذات حل أمثل (Optmal).

وهذا يعني أن اللاعب يمكن أن يحسن من نتيجة باختيار خطط مختلفة. وفي هذه الحالة تعتبر المباراة غير عادلة.

ويمكن معالجة هذه الحالة باستخدام نظرية الاحتمالات. فمثلاً لو فرضنا أن:

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$$

و

$$y_1, y_2, y_3, \dots, y_m$$

تمثل الصفوف والأعمدة بالنسبة للاعبين A، B والتي تمثل الخطوط المطلقة. عليه:

$$\sum_{i=1}^m x_i = \sum_{j=1}^n y_j = 1$$

$$x_i, y_i \geq 0 \quad \text{لكل } (j, i)$$

∴ فإذا كان a_{ij} تمثل دخول إلى المباراة، x_i, y_j سوف تظهر على شكل المصفوفة

التالية:

| | | B | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | y_1 | y_2 | ..... | y_n |
| A | x_1 | a_{11} | a_{12} | ..... | a_{1n} |
| | x_2 | a_{21} | a_{22} | ..... | a_{2n} |
| | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots |
| | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots |
| | x_m | a_{m1} | a_{m2} | ..... | a_{mn} |

ويحل هذا النوع من المسائل ذات الخطة المختلطة وفقاً لمواصفات المستخدمة في Minimax. ويعتبر الفرق الوحيد هو اختيار x_i للاعب A التي تحقق تعظيم أقل خسارة ممكنة في العمود وأن B تختار بواسطة y_i والتي تحقق تصغير أكبر ربح ممكن في الصف.

ويمكن التعبير عن هذه المفاهيم رياضياً على النحو الآتي:

$$\text{Max} \left\{ \left(\sum_{i=1}^m a_{i1} x_i, \sum_{i=1}^m a_{i2} x_i, \dots, \sum_{i=1}^m a_{in} x_i \right) \right\}$$

$$\left[\begin{array}{l} (x_i \geq 0) \\ \sum_{i=1}^m x_i = 1 \end{array} \right] x_i \text{ يختار } A$$

$$\left(y_i \geq \sum_{j=1}^n a_{ij} y_j, y_i = 1 \right) y_i \text{ يختار } B$$

$$\text{Min} \left\{ \text{Max} \left(\sum_{j=1}^n a_{1j} y_j, \sum_{j=1}^n a_{2j} y_j, \dots, \sum_{j=1}^n a_{mj} y_j \right) \right\}$$

فإن:

$$\text{Minimax Exp. Payoff} \geq \text{Maximin exp. Payoff}$$

فإذا كان x^*, y^* تمثل قيم الحل الأمثل

فإن القيمة المتوقعة للمباراة تساوي:

$$y^* = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i^* y_j^*$$

وتوجد عدة طرق لحل هذه المسألة منها ما يلي:

14.4 طريقة حل مسائل الخطأ المختلطة $(2 \times n)$ ، $(m \times 2)$

بواسطة الرسم البياني [Graphical solution of $(2 \times n)$ $(m \times 2)$ Games]

| | | B | | | |
|---|-----------------|----------|----------|-------|----------|
| | | y_1 | y_2 | ..... | y_n |
| A | x_1 | a_{11} | a_{12} | | a_{1n} |
| | $x_2 = 1 - x_1$ | a_{21} | a_{22} | | a_{2n} |

وبافتراض أن المباراة لا توجد فيها نقطة تلاقي.

وبما أن A لها خطتان والتي تتبع

$$y_2 = 1 - x_1, \quad x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0$$

فإن الربح المتوقع والمقابل للخططة المطلقة B يمكن حسابه على النحو الآتي:

| الربح المتوقع لـ A's | خطة B's |
|----------------------------------|----------|
| $(a_{11} - a_{21}) x_1 + a_{21}$ | 1 |
| $(a_{12} - a_{22}) x_1 + a_{22}$ | 2 |
| \vdots | \vdots |
| $(a_{1n} - a_{2n}) x_1 + a_{2n}$ | n |

مثال 14.3:

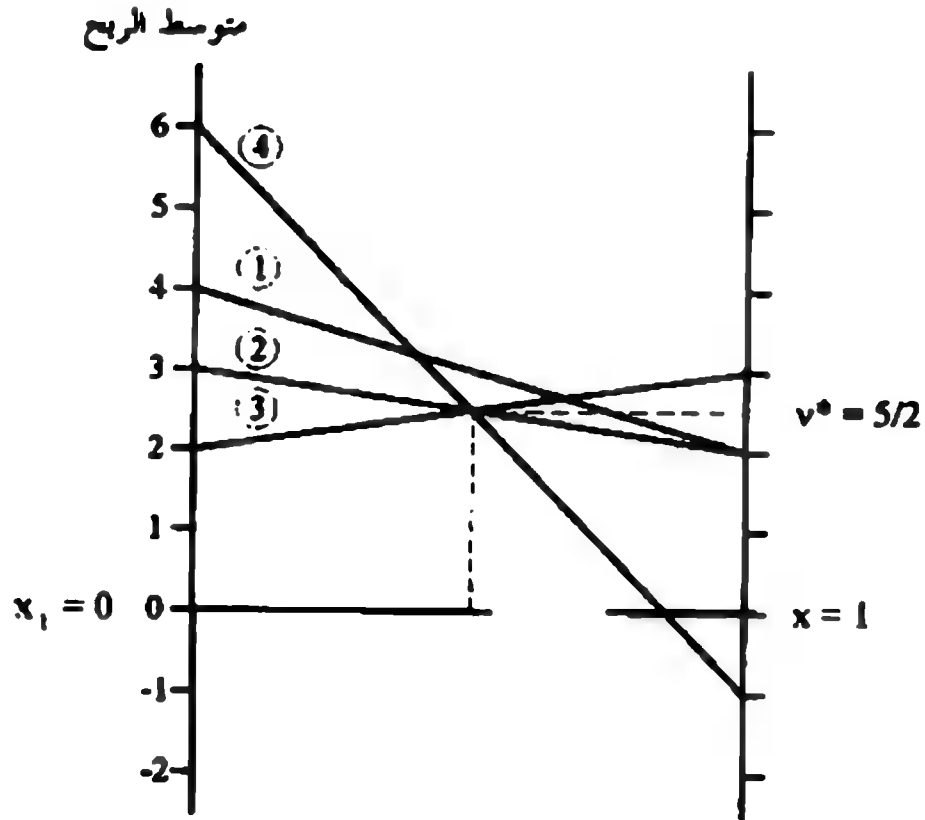
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|----|
| | | B | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| A | 1 | 1 | 2 | 3 | -1 |
| | 2 | 4 | 3 | 2 | 2 |

هذه المباراة لا تحتوي على نقطة تلاقي. ومتوقع أن للاعب A سوف يربح اللاعب

B مطلقة وفق للآتي:

| خطة B المطلقة | توقع الربح لـ A |
|---------------|-----------------|
| 1 | $-2x_1 + 4$ |
| 2 | $-x_1 + 3$ |
| 3 | $x_1 + 2$ |
| 4 | $-7x_1 + 6$ |

وهذه المعادلات الخطية موضحة بالشكل (14.1) كدالة في x_1



شكل (14.1)

حيث نقطة العظمى الصغرى Maximin تحدث عند v^* وهذه النقطة مقلوبة من تقاطع المعادلات 2، 3، 4 وأن الخطة المثلى تحقق عند (v^*) وقيمة المباراة تعطي:

$$y^* = \begin{cases} -\frac{1}{2} + 3 = \frac{5}{2} \\ \frac{1}{2} + 2 = \frac{5}{2} \\ -\left(\frac{1}{2}\right) - 6 = \frac{5}{2} \end{cases}$$

ولحساب الخطة المثلي للاعب B تلاحظ أن ثلاث خطوط مرت بالنقطة العظمى الصغرى (Maximin). وهذا يعطي انطباع أن B يمكن أن تخلط 3 خطط. حيث أن أي خطين يعطي إشارة معاكسة بالنسبة ليوهن ومنها يمكن أن تحصل على حلول مشابهة مثلي.

فمثلاً: إذا أخذنا التركيبات (2,3) أو (2,4) أو (3,4) يمكن معرفة أن التكوينية (2,4) لا تكون حالي مثالي.

أما التكوينية (2,3) تؤدي إلى $y_1 = y_4$

وكذلك $y_3 = 1 - y_2$ وأن متوسط ربح اللاعب B والمقابل للاعب A يمكن حسابها على النحو الآتي:

| خطة A المطلقة | توقع الربح لـ B |
|---------------|-----------------|
| 1 | $-y_2 + 3$ |
| 2 | $y_2 + 3$ |

∴ y_2 (المقابلة للنقطة الصغرى العظمى (Minimax) يمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$y_2 + 3 = -y_2 + 2$$

وهذا يعطي:

$$y_2 = \frac{1}{2}$$

مع ملاحظة أن

$$y_3 = \frac{1}{2}$$

وأن قيمة الربح المتوقعة B تكون 5/2

أما التكوينية الباقية (3,4) يمكن معاملتها بالتشابه كحل أمثل موازي.

مثال 14.4:

إذا أعطيت المصفوفة التالية بمقياس مباراة (4×2) .

| | | B | |
|---|---|----|---|
| | | 1 | 2 |
| A | 1 | 2 | 4 |
| | 2 | 2 | 3 |
| | 3 | 3 | 2 |
| | 4 | -2 | 6 |

فإن هذه المباراة لا توجد لها نقطة تلاقي (Saddle point).

فمثلاً إذا فرضنا y_1, y_2 ($y_1 + y_2 = 1$) فإن الخطه B تعتبر خطه مغلطة.

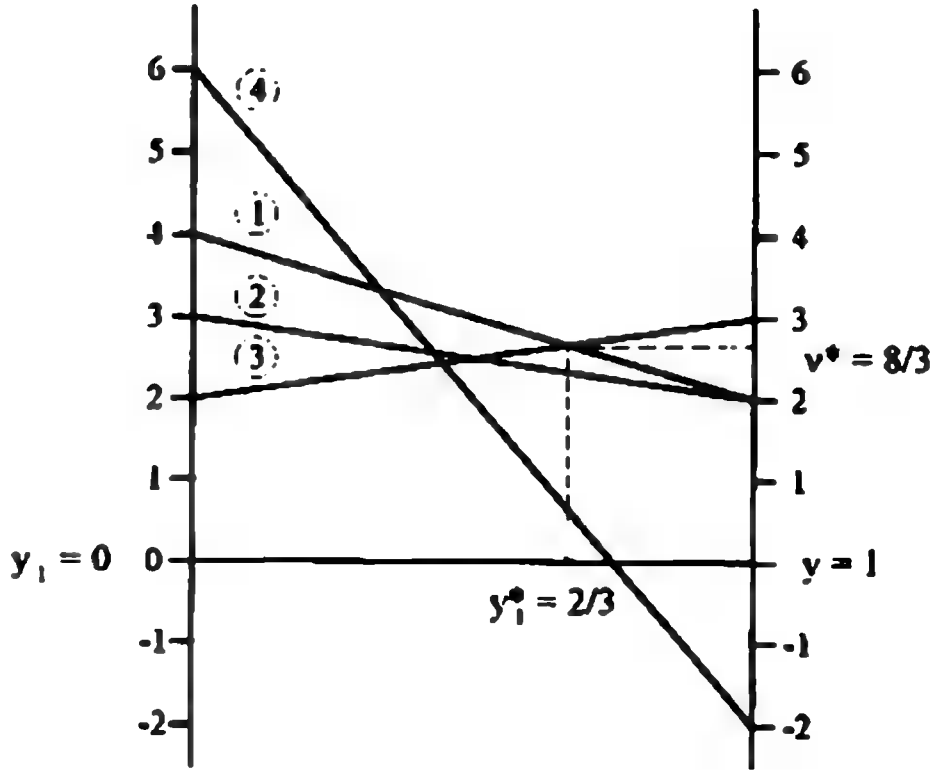
| خطه A المطلقة | الربح المتوقع لـ B |
|---------------|--------------------|
| 1 | $-2x_1 + 4$ |
| 2 | $-x_1 + 3$ |
| 3 | $x_1 + 2$ |
| 4 | $-8x_1 + 6$ |

فلو طبقا قاعدة الرسم البياني التمثيلي للمعادلات الأربعة فإن نقطة القيم العظمى للصغرى (Minimax point) يمكن حسابها كأقل نقطة للأعلى الغلاف.

فإن قيمة y_1 يمكن استخلاصها بواسطة نقطة التقاطع للخطوط (1) و (3) في

الشكل (11.2) ويعطي $y_1 = \frac{2}{3}, y_2 = \frac{8}{3}$

متوسط الربح



شكل (14.2)

حيث أن تقاطع الخطوط عند نقطة العظمى الصغرى مقابل الخطة المطلقة للاعب A (1) & (3). وهذا يعطي:

$$y_1^* = 0$$

$$y_1^* = 0$$

وبالتسلسل $x_1 = 1 - x_3$ وأن متوسط الربح للاعب A مقابل B للخطة المطلقة الحرة هو:

| خطة A المطلقة | الربح المتوقع لـ B |
|---------------|--------------------|
| 1 | $-x_1 + 3$ |
| 2 | $2x_1 + 2$ |

والنقطة x_1 يمكن حسابها وفق المعادلة التالية:

$$-x_1^* + 3 = 2x_1^* + 2$$

وهذا يعطي

$$x_1^* = \frac{1}{3}$$

وأن الخطة المثلي تكون لـ A على النحو الآتي:

$$x_1^* = \frac{1}{3}$$

$$x_2^* = 0$$

$$x_3^* = \frac{2}{3}$$

$$x_4^* = 0$$

$$v^* = \frac{8}{3}$$

14.5 حل المباريات (Mxn) بواسطة البرمجة الخطية

(Solution of (Mxn) Games by Linear programming)

توجد علاقة قوية ما بين نظرية المباريات والبرمجة الخطية منذ صياغة مسألة -two person zero - sum games في صورة مسألة برمجة خطية - وأن أي مسألة برمجة خطية يمكن اعتبارها كمسألة مباريات. وفي الحقيقة قام الباحث [G. Dantzing (1963)] بالتطرق إلى نظرية المباريات عند ظهر علم حل المسائل البرمجية الخطية (السيمليكس) في (1947) وكذلك تطرقت نظرية الثنائية في البرمجة الخطية إلى هذه العلاقة أيضاً.

هذا الجزء يوضح حل مسائل المباريات باستخدام البرمجة الخطية وخاصة التي تحتوئها على عدد كبير في محتوى المصفوفات والتي تأخذ وقت طويل لحلها. فمثلاً: إذا أشرنا إلى العلاقة التي توضح الخطة المختلطة المثلى:

$$\text{Max}_{x_i} \left\{ \min \left(\sum_{i=1}^m a_{i1} x_i, \sum_{i=1}^m a_{i2} x_i, \dots, \sum_{i=1}^m a_{im} x_i \right) \right\}$$

تحت الشروط التالية:

$$x_1 + x_2 + \dots + x_m = 1$$

$$x_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

هذه المسألة يمكن وضعها وإعادة صياغتها في صورة مسألة برمجة خطية وذلك على النحو الآتي: دع

$$v = \min \left(\sum_{i=1}^m a_{i1} x_i, \sum_{i=1}^m a_{i2} x_i, \dots, \sum_{i=1}^m a_{im} x_i \right)$$

فتصبح المسألة:

$$\text{Maximize } z = v \text{ تعظيم}$$

تحت شروط (S. T)

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m a_{ij} x_i &\geq v & j = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^m x_i &= 1 & x_i \geq 0 \text{ (لكل } i) \end{aligned}$$

v تمثل قيمة المباراة في هذه الحالة.

ويمكن تبسيط مسألة البرمجة بقسمة كل المعادلات $(n+1)$ و (v) وهذا التقسيم صحيح مادام قيمة $v > 0$.

أما إذا كانت قيمة $v > 0$ فإن رمز المعادلة $\left[\begin{matrix} < \\ > \end{matrix} \right]$ تعكس وفقاً لقواعد البرمجة الخطية. أما إذا كانت $v = 0$ فلا تجوز القسمة.

وبصفة عامة إذا كانت قيمة Maximin موجبة هذا يحقق عدم وجود نقطة تلاقي.

∴ إذا فرضنا أن $v = 0$ فإن قيود مسألة البرمجة الخطية تكون على النحو الآتي:

$$a_{11} \frac{x_1}{V} + a_{21} \frac{x_2}{V} + \dots + a_{m1} \frac{x_m}{V} \geq 1$$

$$a_{21} \frac{x_1}{V} + a_{22} \frac{x_2}{V} + \dots + a_{m2} \frac{x_m}{V} \geq 1$$

M

$$a_{1n} \frac{x_1}{V} + a_{2n} \frac{x_2}{V} + \dots + a_{mn} \frac{x_m}{V} \geq 1$$

$$\frac{x_1}{V} + \frac{x_2}{V} + \dots + \frac{x_m}{V} = \frac{1}{V}$$

فإذا قلنا أن $x_1 = x_2 = \dots = x_m = V$ فإن

فإن:

$$\text{Max } V = \min \frac{1}{V} = \text{Min}[x_1 + \dots + x_m]$$

وتصبح المسألة على الشكل الآتي:

$$\text{Minimize } z = x_1 + x_2 + \dots + x_m$$

S, T.

$$a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \dots + a_{m1}x_m \geq 1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{m2}x_m \geq 1$$

N

$$a_{1n}x_1 + a_{2n}x_2 + \dots + a_{mn}x_m \geq 1$$

$$x_1, x_2, \dots, x_m \geq 0$$

أما اللاعب B يمكن أن تعطي العلاقة على النحو الآتي:

$$\text{Max}_{y_i} \left\{ \max_n \left(\sum_{j=1}^n a_{1j} y_j, \sum_{j=1}^n a_{2j} y_j, \dots, \sum_{j=1}^n a_{mj} y_j \right) \right\}$$

S.T.

$$y_1 + y_2 + \dots + y_m = 1$$

$$y_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

ويمكن عرضها بواسطة البرمجة الخطية على النحو الآتي:

$$\text{Maximize } w = \gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n$$

(S. T) تحت شروط

$$a_{11}\gamma_1 + a_{12}\gamma_2 + \dots + a_{1n}\gamma_n \leq 1$$

$$a_{21}\gamma_1 + a_{22}\gamma_2 + \dots + a_{2n}\gamma_n \leq 1$$

$$M \quad M$$

$$a_{m1}\gamma_1 + a_{m2}\gamma_2 + \dots + a_{mn}\gamma_n \leq 1$$

$$\gamma_1, \gamma_2 + \dots + \gamma_n \geq 0$$

$$w = \frac{1}{V} \quad \text{حيث}$$

$$\gamma_j = \frac{y_j}{V} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

مع ملاحظة أن اللاعب B يعتبر ثنائي (Dual) للاعب A. وهذا يعني أن الحصول على الأمثل للاعب B يعطي أتوماتيكيا حل أمثل للاعب B.

اللاعب B يجب أن يحمل على أنه مسألة برمجة خطية عادية بطريقة السمبلكس أو اللاعب A يعامل على أن حل مسألة سمبلكس ثنائي. واختيار الحل بأحد الطريقتين يعتمد على عدد القيود أو عدد الخطوط.

مثال 14.5:

إذا أعطيت المصفوفة التالية (3×3)

| | | B | | | صفة القيم الصغرى |
|-------------------|---|----|----|----|------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| A | 1 | 3 | -1 | -3 | -3 |
| | 2 | -3 | 3 | -1 | -3 |
| | 3 | -4 | -3 | 3 | -4 |
| عمود القيم الكبرى | | 3 | 3 | 3 | |

وبما أن القيمة العظمى (-3) فهذا من المستحيل أن تكون قيمة المباراة $(-)$ أو (0) .فإن الثابت k يجب أن يكون على الأقل سالب بالنسبة للقيمة العظمى ويضاف إلى كل عناصر المصفوفة

$$K \geq 3$$

فإذا فرضنا أن $K = 5$ فإن المصفوفة أعلاه تصبح

| | | B | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| A | 1 | 8 | 4 | 2 |
| | 2 | 2 | 8 | 4 |
| | 3 | 1 | 2 | 8 |

فإن مسألة البرمجة الخطية للاعب B يمكن تعطي بالآتي:

$$\text{Maximize } w = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3$$

S. T.

$$8y_1 + 4y_2 + 2y_3 \leq 1$$

$$2y_1 + 8y_2 + 4y_3 \leq 1$$

$$1y_1 + 2y_2 + 8y_3 \leq 1$$

$$y_1, y_2, y_3 \geq 0$$

وأن جدول الحل الأمثل على النحو الآتي:

| المتغيرات الأساسية | y_1 | y_2 | y_3 | s_1 | s_2 | s_3 | الحل |
|--------------------|-------|-------|---|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| W | 0 | 0 | 0 | $\frac{5}{49}$ | $\frac{11}{196}$ | $\frac{1}{14}$ | $\frac{45}{196}$ |
| y_1 | 1 | 0 | 0 | $\frac{1}{7}$ | $-\frac{1}{14}$ | 0 | $\frac{1}{14}$ |
| y_2 | 0 | 1 | 0 | $-\frac{3}{98}$ | $\frac{31}{196}$ | $-\frac{1}{14}$ | $\frac{11}{196}$ |
| y_3 | 0 | 0 | 1 | $-\frac{1}{98}$ | $-\frac{3}{98}$ | $\frac{1}{7}$ | $\frac{5}{49}$ |

والحل للمسألة الأصلية:

$$v^* = \frac{1}{w} = K = \frac{196}{45} - 5 = \frac{29}{45}$$

$$y_1^* = \frac{y_1}{w} = \frac{1/14}{45/196} = \frac{14}{45}$$

$$y_2^* = \frac{y_2}{w} = \frac{11/196}{45/196} = \frac{11}{45}$$

$$y_3^* = \frac{y_3}{w} = \frac{5/49}{45/196} = \frac{20}{45}$$

وأن الخطوة التالية بالنسبة لـ A يمكن الحصول عليها من الحل الثاني للمسألة أعلاه والتي يعطي على النحو الآتي:

$$z = w = 45 / 196$$

$$x_1 = 5/49 \quad x_2 = 11/196 \quad x_3 = 1/14$$

$$x_1^* = \frac{x_1}{z} = \frac{20}{45}$$

$$x_2^* = \frac{x_2}{z} = \frac{11}{45}$$

$$x_3^* = \frac{x_3}{z} = \frac{14}{45}$$

14.6 مسائل:

- 1- أوجد نقطة التلاقي (Saddle point) وكذلك قيمة المباراة لكل من المباريات الآتية. والربح الذي يحصل عليه اللاعب A.

| | | B | | | |
|---|----|----|----|----|--|
| A | 4 | -4 | -5 | 6 | |
| | -3 | -4 | -9 | -2 | |
| | 6 | 7 | -8 | -9 | |
| | 7 | 3 | -9 | 5 | |

| | | B | | | |
|---|---|---|---|---|--|
| A | 8 | 6 | 2 | 8 | |
| | 8 | 9 | 4 | 5 | |
| | 7 | 5 | 3 | 5 | |

2- أذكر قيمة المباريات التالية التي لها قيمة أكبر من أو أقل من أو تساوي صفر.

| | | B | | | |
|---|--|----|----|----|----|
| A | | 1 | 9 | 6 | 0 |
| | | 2 | 3 | 8 | 4 |
| | | -5 | -2 | 10 | -3 |
| | | 7 | 4 | -2 | -5 |

| | | B | | | |
|---|--|---|----|----|----|
| A | | 3 | 7 | -1 | 3 |
| | | 4 | 8 | 0 | -6 |
| | | 6 | -9 | -2 | 4 |

| | | B | | | |
|---|--|----|----|---|---|
| A | | -1 | 9 | 6 | 8 |
| | | -2 | 10 | 4 | 6 |
| | | 5 | 3 | 0 | 7 |
| | | 7 | -2 | 8 | 4 |

| | | B | | |
|---|--|---|---|----|
| A | | 3 | 6 | 1 |
| | | 5 | 2 | 3 |
| | | 4 | 2 | -5 |

3- إذا اعتبرنا المباراة التالية:

| | | B | | |
|---|---|----|----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 |
| A | 1 | 5 | 50 | 50 |
| | 2 | 1 | 1 | 0.1 |
| | 3 | 10 | 1 | 10 |

اثبت أن الخطط $\left(\frac{5}{6}, 0, \frac{1}{6}\right)$ بالنسبة للاعب A وأن $\left(0, \frac{5}{54}, \frac{49}{54}\right)$ بالنسبة للاعب B تكون الحل الأمثل. وأوجد قيم هذه المباريات.

4- أوجد حل المباريات التالية بواسطة طريقة الرسم البياني:

أ-

| | | B | | | |
|---|---|---|---|----|----|
| | | 1 | 3 | -3 | 7 |
| A | 2 | 2 | 5 | 4 | -6 |

ب-

| | | B | |
|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 |
| A | 5 | 5 | 6 |
| | -7 | -7 | 9 |
| | -4 | -4 | -3 |
| | 2 | 2 | 1 |

ج-

| | | B | | |
|---|----|---|----|--|
| A | 1 | 2 | 5 | |
| | 8 | 4 | 7 | |
| | -1 | 5 | -6 | |

5- حل المباريات التالية بطريقة البرمجة الخطية:

أ-

| | | B | | |
|---|----|----|---|--|
| A | -1 | 1 | 1 | |
| | 2 | -2 | 2 | |
| | 3 | 3 | 3 | |

ب-

| | | B | | | |
|---|--|----|----|----|---|
| | | 1 | 2 | -5 | 3 |
| A | | -1 | 4 | 7 | 2 |
| | | 5 | -1 | 1 | 9 |

الفصل الخامس عشر

برمجة الأهداف المتعددة

ركز هذا الفصل على التعريف بالأهداف المتعددة لدالة الهدف وكيفية صياغة هذا النوع من المشاكل والذي يحتاج إلى فهم أكثر لمعطيات المسائل ووضعها في أنماط خطية والتي يمكن حلها بواسطة طريقة السمبلكس الجبرية.

15

الفصل الخامس عشر

برمجة الأهداف المتعددة

Goal Programming

15.1 مقدمة:

في مجالات الحياة التطبيقية المهمة في اتخاذ القرارات يتعذر أحياناً أن نحقق كل الأهداف المرجوة ونحقق كل القيود المحيطة أو المتاحة، وهذا يلزمنا بأن نختار هدف واحد مثال تحقيق أعظم ربح ممكن أو أقل تكاليف ممكنة، ولكن أحياناً يتطلب الأمر إلى أن نحقق أكثر من هدف في مؤسسة صناعية أينا مثال تحقيق أعظم ربح ممكن مع المحافظة على الطاقة البشرية وتقليل زيادة الأسعار ... الخ.

برمجة الأهداف Goal Programming يعتبر امتداد للبرمجة الخطية مع احتوائه على نفس دالة الهدف ومع احتوائه على أهداف متعددة. وعند صياغة مسألة برمجة الأهداف، يجب أن تعرف المتغيرات الأساسية x_1, x_2, \dots, x_n تم تحديد الإدارة أهمية هذه المتغيرات.

إن برمجة الأهداف عبارة عن البرمجة الخطية مع خاصية الحصول على تحقيق أكثر من هدف آنياً حتى ولو كانت هذه الأهداف أحياناً متكاملة، وذلك بوضع هدف لكل متغير لإمكانية الوصول إليه.

15.2 برمجة الأهداف المتعددة

استخدمت لأول مرة بواسطة Chares, Cooper and Ferguson in 1955 وأن أول تطبيق هندسي لبرمجة الأهداف Ignacio by (1962).

مثال (1):

مصنع يتج نوعان من المتوجات: هيكل جهاز الحاسوب وصندوق حمل الاسطوانات، ويرغب المصنع في اتخاذ قرار إما الاستمرار في إنتاج هيكل الحاسوب أو صندوق الاسطوانات، حيث أن إنتاج أحد المتوجين يستغرق ساعة إنتاجية وأن الزمن المتاح للإنتاج 10 ساعات يومياً، فإن عدد أجهزة الحاسوب التي يمكن بيعها يومياً 6 عدد صناديق حمل الاسطوانات 8 في اليوم، وسعر البيع 80 د.ل. للأول و 40 د.ل. للثاني. الساعات الإضافية المسموح بها يومياً 2 ساعة في اليوم، ومبرر الإنتاج يرغب في تحقيق الأهداف الآتية:

- 1- لا يرغب في تخفيض ساعات الإنتاج اليومية وفق الطاقة التصميمية لخط الإنتاج.
 - 2- لا يرغب في زيادة الساعات الإضافية.
 - 3- يرغب في بيع أكثر عدد من المنتجين.
 - 4- يرغب في تصغير الوقت الإضافي إلى الحد الأدنى.
- المطلوب: صياغة المسألة ببرمجة الأهداف.

الحل:

الشركة تنتج عدد 2 منتج x_1 ، x_2 .
 الزمن اللازم لإنتاج هيكل جهاز الحاسوب = ساعة واحدة.
 الزمن اللازم لإنتاج صندوق حمل الاسطوانات = ساعة واحدة.
 الزمن المتاح للإنتاج يومياً = 10 ساعات.
 حجم المبيعات المتوقع $x_1 = 6$.
 حجم المبيعات المتوقع $x_2 = 8$.
 ثمن بيع هيكل جهاز الحاسوب = 80 د.ل.
 ثمن بيع صندوق حمل الاسطوانات = 40 د.ل.
 x_1 هيكل جهاز الحاسوب.
 x_2 صندوق حمل الاسطوانات.

قيود المسألة:

1- قيد زمن الإنتاج المتاح:

$$x_1 + x_2 + d_2^- - d_1^+ = 10$$

حيث: d_1^- = الزمن الذي لم يتم استخدامه من زمن الإنتاج المتاح يومياً.
 d_2^+ = الزمن الذي يمكن استخدامه فوق زمن الإنتاج المتاح يومياً.

2- قيد المبيعات:

$$x_1 + d_2 = 6$$

$$x_2 + d_3 = 8$$

حيث: d_2 = كمية المبيعات التي لا تحقق في x_1 .
 d_3 = كمية المبيعات التي لا تحقق في x_2 .

3- الزمن الإضافي:

$$d_1^+ + d_4 - d_4^- = 2$$

حيث: d_4 = الزمن الغير مطلوب من الزمن الإضافي المتاح.
 d_4^- = الزمن المطلوب أكثر من الزمن الإضافي المتاح.
 إذ يمكن صياغة نمط برمجة الأهداف على النحو التالي:

$$\text{Minimize } z = P_1 d_1^- + P_2 d_4^- + (2P_3 d_2 + P_3 d_3) + P_4 + d_1^+$$

S.T

$$x_1 + x_2 + d_2^- - d_1^+ = 10$$

$$x_1 + d_2 = 6$$

$$x_2 + d_3 = 8$$

$$d_1^+ - d_4 - d_4^- = 2$$

مع مراعاة الآتي: $x_1, x_2, d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_2^+, d_3^-, d_3^+, d_4^-, d_4^+ \geq 0$

وأن P_4, P_3, P_2, P_1 هي مستويات الأفضلية بداية من الأحسن إلى الأسوأ.

وأن $P_1 d_1$ هو الهدف الأول

$P_2 d_2$ هو الهدف الثاني.

$(2P_3 d_3 + P_3 d_3)$ هو الهدف الثالث.

$P_4 d_4$ هو الهدف الرابع.

مثال (2):

مدير إنتاج في مصنع ما واجه بعض المشاكل في تخصيص أعمال لفريقي الإنتاج في المصنع حيث أن نسبة الإنتاج للفريق الأول 8 وحدات/ الساعة، ونسبة الإنتاج للفريق الثاني 5 وحدات/ الساعة وأن ساعات العمل المتاحة لكل فريق 40 ساعة/ أسبوعياً، ويرغب مدير الإنتاج في اختياراته لتحقيق الأهداف التالية:

- 1- P_1 = لا يرغب في أن يحقق مستوى الإنتاج عن 550 وحدة.
 - 2- P_2 = الزمن الإضافي للفريق الأول لا يزيد عن 5 ساعات.
 - 3- P_3 = الزمن الإضافي للفريقين يجب أن يكون في الحد الأدنى.
 - 4- P_4 = لا يسمح بأي إخفاقات في تحقيق الإنتاج المرغوب في الزمن العادي المتاح للإنتاج ويمكن تخضع ذلك لحسابات الإنتاجية.
- المطلوب: صياغة المسألة ببرمجة الأهداف.

الحل:

- x_1 زمن الإنتاج للفريق الأول أسبوعياً.
- x_2 زمن الإنتاج للفريق الثاني أسبوعياً.
- نسبة الإنتاج للفريق الأول 8 وحدات/ الساعة.
- نسبة الإنتاج للفريق الثاني 5 وحدات/ الساعة.
- الزمن المتاح بالإنتاج لكل فريق 40 ساعة/ أسبوعياً.

1- قيد حجم الإنتاج:

$$8x_1 + 2x_2 + d_1' - d_1'' = 550$$

حيث: d_1 الإنتاج غير المحقق من الإنتاج المستهدف.
 d_2 الإنتاج المحقق من الإنتاج المستهدف.

2- قيد زمن الإنتاج للفريقين:

$$x_1 + d_2 - d_2' = 40$$

حيث d_2' ، d_2 الزمن الناقص والزائد من زمن الإنتاج المحدد أسبوعياً للفريق الأول.

$$x_2 + d_3 - d_3' = 40$$

حيث d_3' ، d_3 الزمن الناقص والزائد عن الزمن المحدد للزمن الإضافي أسبوعياً.

وهذا تكون صياغة للمسألة ببرمجة الأهداف:

$$\text{Minimize } z = P_1d_1 + P_2d_4' + (P_3d_2' + P_3d_3') + (8P_4d_2 + 5P_4d_3)$$

S.T

$$8x_1 + 5x_2 + d_1 - d_1' = 550$$

$$x_1 + d_2 - d_2' = 40$$

$$x_2 + d_3 - d_3' = 40$$

$$d_2' + d_4 - d_4' = 5$$

$$x_1, x_2, d_1, d_1', d_2, d_3, d_4, d_4' \geq 0$$

وأن:

| | |
|-----------|--------|
| P_1d_1 | Goal 1 |
| P_2d_4' | Goal 2 |
| P_3d_1 | Goal 3 |
| P_2d_4 | Goal 4 |

15.3 طريقة حل برمجة الأهداف المتعددة بواسطة طريقة السمبلكس:

Simplex Method To Solving Programming

يمكن استخدام طريقة السمبلكس التي نوقشت في الفصل الخامس لحل ممائل لبرمجة الأهداف بعد إضافة بعض التطويرات عليها والتي يمكن إبرازها على النحو الآتي:

1- تصفير الجزء الذي لم يحقق الهدف إلى الحد الأدنى، والذي يمكن الحصول عليه بتصفير d_s أو الميول عن الهدف. ويمكن تمثيله بقيم Z في الجدول التالي.

2- Z لا يمكن إبرازها في صف واحد وتصبح جداول السمبلكس في صورة مصفوفة حجمها $(mxin)$ حيث imperative factors

(number of decision variables + number of deviational variables)

مثال (3):

ابعد حل المسألة التالية:

$$\text{Minimize } z = P_1d_1 + P_2d_2 + (2P_3d_3 + P_3d_3) + P_4d_4$$

S.T

$$x_1 + x_2 + d_1 - d_1' = 10$$

$$x_1 + d_2 = 6$$

$$x_2 + d_3 = 8$$

$$d_1' + d_4 - d_4' = 2$$

$$x_1, x_2, d_1, d_1', d_2, d_3, d_4, d_4' \geq 0$$

في المعادلات السابقة x_1, x_2 تعتبر المتغيرات الأساسية لاتخاذ القرار وباقي المتغيرات تعتبر متغيرات ثانوية تؤثر بميول في اتخاذ القرار.

والجدول 15.1 يوضح الحل الابتدائي.

Table 15.1 Initial Table

| | C_j | 0 | 0 | P_1 | $2P_3$ | P_3 | 0 | P_4 | P_2 | | |
|-------------|----------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|
| CB_i | Basic variable | x_1 | x_2 | d_1 | d_2 | d_3 | d_4 | d_5 | d_6 | Solution | Ratio |
| P_1 | d_1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 10 | 10 |
| $2P_3$ | d_2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 |
| P_3 | d_3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 8 | - |
| 0 | d_4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -1 | 2 | - |
| $C_j - Z_j$ | p_4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | p_3 | -2 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | |
| | p_2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | p_1 | -1** | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 10 | |

■ Key row

** column

حيث $Z_j - C_j$ تكونت على النحو الآتي:

The computation of the values for the criterion matrix is:

$$C_1 - Z_1 = 0 - (p_1 + 2p_3) = -p_1 - 2p_3$$

$$C_2 - Z_2 = 0 - (p_1 + p_3) = -p_1 - p_3$$

$$C_3 - Z_3 = p_1 + p_1 = 0$$

$$C_4 - Z_4 = 2p_3 - 2p_3 = 0$$

$$C_5 - Z_5 = p_3 - p_3 = 0$$

$$C_6 - Z_6 = 0 - 0 = 0$$

$$C_7 - Z_7 = p_4 - (-p_1) = p_4 + p_1$$

$$C_8 - Z_8 = p_2 - 0 = p_2$$

وتكون مؤثرات العمود على النحو الآتي: $10 p_1 + 20 p_3$

بعد ذلك، المعاملات الداخلة $Z_j - C_j$ والحل للعمود للخلية المصفوفة $Z_j - C_j$ موضحة في الجدول 15.1.

طريقة اختيار العمود:

- 1- اختيار رقم $Z_j - C_j$ التي تقع في دائرة الحل.
- 2- إيجاد أكبر قيمة موضحة، فمثلاً $P_1 = 1Q$
 $P_3 = 20$ للمسألة (minimization)
- 3- اختيار أقل قيمة سالبة في المصفوفة ولتكن (-1) تحت العمود x_1, x_2 وباعتبار تكرار عند x_2 إذاً تختار x_2 لأن أكثر قيمة سالبة (-2) والتي تقع في العمود x_1 .
- 4- عليه يتم اختيار العمود x_1 .
- 5- يتم اختيار الصف التي يحقق أقل نسبة موجبة ونميل ذلك الصف d_2 . وبناء عليه يكون الجدول 15.2.

Table 15.2 Iteration 1

| | C_j | 0 | 0 | P_1 | $2P_3$ | P_3 | 0 | P_4 | P_2 | | |
|-------------|----------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|----------|-------|
| CB_i | Basic variable | x_1 | x_2 | d_1 | d_2 | d_3 | d_4 | d_1' | d_4' | Solution | Ratio |
| P_1 | d_1 | 0 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 4 | 4* |
| 0 | x_1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | - |
| P_3 | d_3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 8 | 8 |
| 0 | d_4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -1 | 2 | - |
| $C_j - Z_j$ | p_4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | p_3 | -2 | -1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | |
| | p_2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | p_1 | 0 | -1* | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | |

نخصصت كما يلي $C_j - Z_j$:

$$C_1 - Z_1 = 0$$

$$C_2 - Z_2 = 0 - (p_1 + p_3) = -p_1 - p_3$$

$$C_3 - Z_3 = p_1 - (p_1) = 0$$

$$C_4 - Z_4 = 2p_3 - (-p_1) = 2p_3 + p_1$$

$$C_5 - Z_5 = p_3 - p_3 = 0$$

$$C_6 - Z_6 = 0 - 0 = 0$$

$$C_7 - Z_7 = p_4 - (-p_1) = p_4 + p_1$$

$$C_8 - Z_8 = p_2$$

نلاحظ في الجدول 15.2 لتفضيل الصفوف p_1 ، p_2 بالقيم 4، 8.

وبإيجاد أقل قيمة سالبة في الصف p_1 والتي سوف تتحقق في العمود x_2 والذي يحتوى على قيمة سالبة واحدة هي -1 في الصف p_1 .

وبالحصول على نسبة في الجدول 15.2 حيث أقل قيمة موجبة.

إذا الصف الأول (صف d1) والتي يمكن تحقيقه في الجدول 15.3.

Table 15.3 Iteration 1

| | C_j | 0 | 0 | P_1 | $2P_3$ | P_3 | 0 | P_4 | P_2 | | |
|--------------------------------|----------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|----------|-------|
| CB _i | Basic variable | x_1 | x_2 | d_1 | d_2 | d_3 | d_4 | d_1' | d_4' | Solution | Ratio |
| 0 | x_2 | 0 | 1 | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 4 | - |
| 0 | x_1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | - |
| P_3 | d_3 | 0 | 0 | -1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 |
| 0 | d_4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -1 | 2 | 2* |
| C _j -Z _j | p_4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | p_3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 4 | |
| | p_2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | p_1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | +0 | 0 | 0 | |

The expressions for different $C_j - Z_j$ are derived as shown below.

$$C_1 - Z_1 = 0 - 0 = 0$$

$$C_2 - Z_2 = 0$$

$$C_3 - Z_3 = p_1 - (-p_3) = p_1 + p_3$$

$$C_4 - Z_4 = 2p_3 - (-p_3) = p_3$$

$$C_5 - Z_5 = p_3 - p_3 = 0$$

$$C_6 - Z_6 = 0 - 0 = 0$$

$$C_7 - Z_7 = p_4 - p_3$$

$$C_8 - Z_8 = p_2 - 0 = p_2$$

وبما أن الصف P1 في المصفوفة، يجب اختيار معاملات $C_j - Z_j$ والتي تعطي:

1- في العمود d1 ويتضح 15.4 على النحو الآتي:

Table 15.4 Iteration 3

| | C_j | 0 | 0 | P_1 | $2P_3$ | P_3 | 0 | P_4 | P_2 | |
|-----------------|----------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|----------|
| CB _i | Basic variable | x_1 | x_2 | d_1 | d_2 | d_3 | d_4 | d_1' | d_4' | Solution |
| 0 | x_2 | 0 | 1 | 1 | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 6 |
| 0 | x_1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| P_3 | d_3 | 0 | 0 | -1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| P_4 | d_1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -1 | 2 |
| $C_j - Z_j$ | p_4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| | p_3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 2 |
| | p_2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | p_1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0+ | 0 | 0 |

ويتضح قيم $Z - C_j$:

$$C_1 - Z_1 = 0 - 0 = 0$$

$$C_2 - Z_2 = 0$$

$$C_3 - Z_3 = p_1 - (-p_3) = p_1 + p_3$$

$$C_4 - Z_4 = 2p_3 - p_3 = p_3$$

$$C_5 - Z_5 = p_3 - p_3 = 0$$

$$C_6 - Z_6 = 0 - (-p_3 + p_4) = p_3 - p_4$$

$$C_7 - Z_7 = p_4 - p_4 = 0$$

$$C_8 - Z_8 = p_2 - (p_3 - p_4) = p_2 - p_3 + p_4$$

نلاحظ أن الصف p_3 يحتوي على 1- للعمود d_4 .

إذا كنا نرغب في تحقيق هدف 3 (صف p_1) لابد من تضعف الهدف p_2 ويتم الباقي بالتشابه، وبما أن كل القيم في المصفوفة تساوي 0 إذا المسألة وصلت إلى الحل الأمثل التصغيري.

وتكون النتائج على النحو الآتي:

- عدد هياكل أجهزة الحاسوب التي يتصل إنتاجها يومياً $x_1 = 6$
- عدد صناديق حمل الأسطوانات التي يفضل إنتاجها يومياً $x_2 = 6$
- الانخفاض المتوقع في المبيعات x_2 ، وحدة $d_3 = 2$
- الارتفاع المتوقع في سعة الإنتاج في اليوم $d_1 = 2$ ساعة.

15.4 مسائل:

1- شركة صناعية تنتج منتجان x_1 ، x_2 ولها المواصفات التالية:

| المنتج | الربح الجالون | كمية المواد الكيميائية اللازمة الإنتاج من نوع A الجالون | كمية المواد كيميائية اللازمة الإنتاج من B | كمية المادة المضافة بالجالون |
|---|------------------|---|---|------------------------------------|
| A | 80 دينار | 4 | 4 | 1 |
| B | 100 دينار | 5 | 2 | 0 |
| الكمية المتاحة يوميًا بالكيلوجرام | 0 | 80 | 48 | 6 |

مع التقييد بالقيود الآتية للإنتاج:

- كميات المواد الكيميائية المتاحة من النوع A ، B محدودة غير قابلة للزيادة.
 - علمًا بأن أهداف الشركة على النحو الآتي: يجب أن تحقق الشركة مبلغ 800 د.ل كأرباح يوميًا.
 - كمية المادة المضافة يوميًا تصل أقل عن 6 كيلوجرام.
 - يجب أن كمية مجموع المنتوجات اليومية في طلبية ممكنة.
- المطلوب صياغة المسألة على هيئة برمجة تحقيق الأهداف الخطية.

2- شركة تنتج منتوجات، منتج A مردوده 10 دينار للوحدة، ومنتج B مردوده 8 دينار للوحدة. منتج A يحتاج إلى 3 ساعات للوحدة في عملية التجميع، ومنتج B يحتاج إلى ساعتان للإنتاج. مجموع الساعات المتاحة للتجميع 120 ساعة أسبوعيًا، وأحياناً مطلوب بعض الساعات الإضافية، وإذا أحسن استخدام الزمن الإضافي، ووفق العقد المبرم للإنتاج يجب أن تنتج الشركة 30 وحدة أسبوعيًا من المنتجين A و B.

عليه، فإن مالك الشركة يرغب في تحقيق الأهداف الآتية:

- أ - يجب أن يتحقق الإنتاج في الزمن المتاح وبدون ساعات إضافية والتي يساوي 120 ساعة/ أسبوعياً.
- ب - الزمن الإضافي يجب أن يكون على الحد الأدنى.
- ج - الربح يجب أن يكون أعظم ما يمكن.

3- اشرح صياغة المسألة ببرمجة الأهداف خطياً:

(Deviation Variables)

(d_1 ، d_2) والمتغيرات الإضافية (Slack reliable) تستخدم في البرمجة.

- 4- نوعان من الدرجات النارية أحدهما تباع بـ 650 د.ل. والآخرى تباع بـ 785 د.ل. حيث الأول يمكن إنتاجها محلياً، والثاني يتم توريدها من خارج البلاد. فإذا تم توريد المستورد غير مجمعة فسوف تكلف 185 د.ل.، وسوف نعرف من الجدول التالي معلومات عن زمن الإنتاج، وزمن التجميع، وزمن الاختيار، وتكلفة الإنتاج، وذلك على النحو الآتي:

| زمن الاختيار | الساعة/ الوحدة | | |
|--------------|----------------|-------------|--------------------------------|
| | زمن التجميع | زمن الإنتاج | |
| 3 | 5 | 20 | المصنعة محلياً |
| 6 | 7 | 0 | المستوردة |
| | | | تكلفة العمالة/ الساعة بالدينار |

وترغب الشركة في تحقيق النتائج والأهداف الآتية:

- أ - أن يتحقق ربح قدره 3000 دينار/ أسبوعياً على الأقل.
- ب - الزمن المتاح أسبوعياً 120، 80، 40 ساعة وقت عادي للإنتاج والتجميع والاختيار.

- ج- صياغة الشركة أن يتبع أكبر ممكنة من الإنتاج المحلي.
 د- ترغب الشركة في تصغير الزمن الضائع ولا تضطر لإعطاء زمن إضافي.
 المطلوب صياغة المسألة برمجة الأهداف خطياً.
- 5- أذكر تطبيقات برمجة متعددة الأهداف.

- 6- شركة تنتج 3 أنواع من المصابيح الكهربائية A ، B ، C وتنتج هذه المصابيح في خطوتين؛ الأول خرط والثاني طحن. وجدول توفر زمن الإنتاج على النحو الآتي:

| الزمن المتاح بالساعة | A (hr) | A (hr) | A (hr) | |
|----------------------|--------|--------|--------|------|
| 1800 | 4 | 3 | 1 | خرطة |
| 1500 | 3 | 2 | 2 | طحن |

وأن الربح المتوقع لكل نوع على التوالي 4.5 دينار، 5.50 دينار، 6.75 دينار.
 والشركة لها هدفان تصغير زمن التأخير للآلات وتعظيم الربح حتى 12,000 دينار شهرياً.

المطلوب: صياغة المسألة في صورة برمجة خطية متعددة الأهداف.

References

- 1- Bazaraa, S.M. & I. I. Jarvis, Linear Programming and Network Flows (1977). John Wiley & Sons, Inc. USA.
- 2- Broke, R. , Project Management: Planning and control (1993) Wiley, New York, USA.
- 3- Chase, R. B. & N. J. Aquilano, Production and Operation Management, (1981), Richard D. Irwin, Inc. , Illinois, USA.
- 4- Duellenbach, H. G. & J. A. George and D. C. McNickel, Introduction to Operations Research Techniques. (1983) Allyn and Bacon. INC. Massachusetts USA.
- 5- Dilworth, J. B. , Operations Management (1996) McGraw - Hill Co. Inc, Toronto. CANADA
- 6- Hartly. R. V. Operation Research: A , Managerial Emphasis (1976). Good year Pub. Company INC. Cat. USA.
- 7- Hillier. F. S. Introduction in Operations Research (1990) New York: McGraw Hill. USA.
- 8- Ignizio, J. P. Linear Programming in single and Multiple objective systems (1982). Prentice - Hall, INC. , N. J. USA.
- 9- Law, A. M. and W. D. Kelton - Simulation Modeling and Analysis (1991) 2nd ed. New York, NY - McGraw - Hill.
- 10- Kerzner, H. Project Management: A System Approach to Planning Scheduling and control (1992) New York: John Wiley & Sons Reinhold.

- 11- Naddor, E. Inventory system. (1966) John wiley & sons, INC. USA.
- 12- Slak, N. And others. Operation Management (1995) Pitman Publishing, London. UK.
- 13- Taha, H . A. Operations Research: an I introduction, 3 rd ed. (1982). Mc Millan, Pub, Co. , INC. USA.
- 14- Tersine, R. I. Principles ofInventory and Materials Management, 4th ed. (1993). Englewood, cliffs, N. I. Prentice hall.
- 15- Waters, C . D. I. Inventooy control and Management (1992) chichester: wiley USA.
- 16- Wagner, H. M. Principle of Operations Research (1975) Prentice Ham, INC. England cliffs, N. I. USA.
- 17- Wild. R. Production and Operations management 5th ed. (1995) 13 ath press, England.

Glossary

A

| | |
|------------------------------|----------------------------|
| Analysis of variance | تحليل المتغيرات |
| Actual inventory | الجرد الفعلي |
| Axis | محور |
| Average collection period | متوسط مدة التحصيل |
| Average physical product | متوسط الإنتاج الفعلي |
| Arithmetical progression | متوالية حسابية |
| Alternative optimum solution | حل مثالي بديل |
| Artificial variable | المتغير الصناعي |
| Assignment model | نموذج التعيين (أو التخصيص) |
| Analogue model | النموذج المماثل |

B

| | |
|-----------------------|--------------------|
| Binomial distribution | توزيع حداني |
| Bimodal | ثنائي المتوال |
| Bid | عطاء |
| Base period | فترة الأساس |
| Buffer stock | مخزون داري |
| Break - up value | قيمة تصفية المنشأة |
| Business cycle | دورة اقتصادية |
| Bilateral flows | تدفقات ثنائية |

| | |
|-----------------------------|---|
| Basic motion time | وقت الحركة الأساسية |
| Batch production | الإنتاج بالدفعات |
| Batch costing | تقدير تكاليف الدفعة |
| Business logistics | الإمداد والتموين في المشروع |
| Branch - and - Bound method | طريقة حل البرمجة الخطية للأعداد الصحيحة بواسطة التوزيع والنظم |

C

| | |
|------------------------------|-------------------------|
| Constants | ثوابت |
| Correlation | ترابط |
| Coordinates | إحداثيات |
| Controllable variables | المتغيرات المسيطر عليها |
| Convexe | محدّب |
| Correlation coefficient | مُعامل الترابط |
| Coefficient of determination | معامل التحديد |
| Coefficient | معامل |
| Continuous variable | متغير مستمر |
| Constraints | قيود |
| Convex function | دالة مقعّدة |
| Continuous simulation | المحاكاة المستمرة |
| Critical Path Analysis (CPA) | تحليل المسار الحرج |
| Consumption function | دالة الاستهلاك |
| Cost function | دالة التكلفة |
| Costs | تكاليف |
| Cost of goods sold | تكلفة السلع المبّعة |
| Cost of capital | تكلفة رأس المال |
| Computer simulation | المحاكاة بالحاسوب |

| | |
|--------------------------|--------------------------------|
| Capital stock | مخزون رأسمالي |
| Cost determination | تحديد التكاليف |
| Cost of production | تكاليف الإنتاج |
| Cost elements | عناصر التكاليف |
| Critical path scheduling | وضع جداول زمنية للأعمال الحرجة |
| Case study | دراسة حالة |
| Concentration measures | مقياس التركيز |
| Cost minimization | تقليل التكاليف |

D

| | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| Demand function | دالة الطلب |
| Delivery note | إشعار تسليم |
| Dispersion | تشتت |
| Dynamic analysis | تحليل دينامي |
| Dimension motion time | وقت الحركة البعدية |
| Distribution system | نظام التوزيع |
| Dependent variable | متغير تابع |
| Distribution efficiency | فاعلية توزيعية |
| Decision tree | شجرة القرار |
| Demand | الطلب |
| Derived demand | طلب مشتق |
| Duality | ثنائية |
| Dual | ثنائي |
| Duality in linear programming | النموذج الثنائي لمسائل البرمجة الخطية |
| Dual problem | النموذج الثنائي (المشكلة) |
| Dual values | القيم الثنائية |

| | |
|---------------------|---|
| Discrete simulation | المحاكاة المتقطعة |
| Dual simplex method | طريقة حل المسائل الثنائية بواسطة السمبلكس |

E

| | |
|--------------------------|-----------------------|
| Extreme points theory | نظرية نقاط التقاطع |
| Exponential distribution | توزيع أسّي |
| Erlang distribution | توزيع إيرنلق |
| Equations | المعادلات |
| Excess demand | فائض الطلب |
| Exogenous variable | متغير خارجي المنشأ |
| Endogenous variable | متغير داخلي المنشأ |
| Exponential function | دالة أسية |
| Excess capacity | طاقة زائدة |
| Expected value | القيمة المتوقعة |
| Economic lot size | حجم الدفعة الاقتصادية |
| Exponential smoothing | تسوية أسية |

F

| | |
|------------------------|------------------------------|
| Factor cost | تكلفة العوامل |
| Factory cost | التكلفة في المصنع |
| Frequency distribution | توزيع تكراري (توزيع التواتر) |
| Feasibility study | دراسة الجدوى |
| Fixed point constants | ثوابت الفاصلة الثابتة |
| Factory inputs | مدخلات الإنتاج |
| Full capacity | طاقة كاملة |
| Factor | عامل إنتاج |
| Factors of production | عوامل الإنتاج |

| | |
|--------------------------------------|--|
| Financial control | الرقابة المالية |
| Feasible area | المنطقة الممكنة |
| Fixed - time period model | نماذج الطلبية الاقتصادية عندما تكون الفترة الزمنية ثابتة |
| Fixed order quantity with backorders | نمط طلب الكمية الاقتصادية مع السماح بفقدان المخزون |

G

| | |
|--|---|
| Graphical solution of linear programming | استخدام الطرق البيانية في حل نموذج البرمجة الخطية |
| Geometrical progression | متوالية هندسية |
| Graph | رسم بياني |
| Game theory | نظرية المباريات (الألعاب) |

H

| | |
|------------|-------------|
| Hypothesis | فرضية |
| Histogram | مدرج تكراري |

I

| | |
|-----------------------|------------------------|
| Inequalities | الغير متعادلات |
| Infeasible area | منطقة غير منظورة |
| Information analysis | تحليل المعلومات |
| Investment evaluation | تقييم الاستثمارات |
| Index number | رقم قياسي |
| Independent variable | متغير مستقل |
| Isoquant map | مخطط الكميات المتساوية |
| Integers | الأعداد الصحيحة |
| Inventory control | مراقبة المخزون |
| Inventory variation | دوران المخزون |

| | |
|-------------------------|--------------------------|
| Inventory turnover | انحراف قيمة المخزون |
| Input - output analysis | تحليل المدخلات والمخرجات |
| Identity | تمائل |
| Isocost line | خط تساوي التكاليف |
| Industrialization | تصنيع |
| Integer programming | برمجة الأعداد الصحيحة |
| Inventory holding cost | تكلفة حفظ المخزون |

J

| | |
|--------------|-----------|
| Joint demand | طلب مشترك |
|--------------|-----------|

L

| | |
|--------------------|---|
| Linear programming | برمجة خطية |
| Long run | مدى طويل |
| Lead time | الزمن اللازم لتوفير الطلبية بعد إصدار الأمر |
| Line production | الإنتاج الخطي |
| Linear functions | الدوال الخطية |
| Limiting factor | عامل محدد |

M

| | |
|-------------------------|---------------------|
| Moving average | متوسط متحرك |
| Mean, Average | متوسط |
| Maintenance costs | تكاليف الصيانة |
| Maintenance margin | هامش وقاية (صيانة) |
| Materials costs | تكلفة المواد |
| Materials cost variance | انحراف تكلفة المواد |

| | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| Modular production | الإنتاج المعياري |
| Mathematical model | النمط الرياضي |
| Max. Profit | تعظيم الربح |
| Min. Cost | تصغير التكلفة |
| Min. Overtime | تصغير الوقت الضائع |
| Model validity | تحقيق أنماط البرمجة الخطية |
| Mixed strategies | الخطط (الاستراتيجيات) المختلطة |
| Maximization problem | مسألة تعظيم |
| Minimization problem | مسألة تصغير |
| Monte carlo simulation | محاكاة مونت كارلو |
| Multiple correlation coefficient | معامل الترابط المتعدد |
| Margin of error | هامش الخطأ |
| Multiple linear regression | تكرار خطي متعدد |
| Marginal cost | تكلفة حدية |
| Mass production | الإنتاج الوفير |

N

| | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| Nominal values | قيم اسمية |
| North - west corner | طريقة زاوية الركن الشمالي - الغربي |
| Non - negativity conditions | شروط عدم السلبية |
| Non - linear functions | الدوال غير الخطية |
| Null hypothesis | فرضية باطلة |
| Necessary condition | شروط لازم |
| Non - optimal | غير مثالي |

O

| | |
|------------------------|-------------------|
| Optimum order quantity | كمية الطلب المثلي |
|------------------------|-------------------|

| | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| Objectives | الأهداف |
| Optimum solution | الحل الأمثل |
| Order | طلبية |
| Opportunity cost | التكلفة الفرضية (تكلفة الفرضية) |
| Ordinary least squares | المربعات الدنيا العادية |
| Overhead costs, fixed costs | تكاليف ثابتة |
| Operation research | بحوث العمليات |

P

| | |
|-----------------------------------|---|
| Production | إنتاج |
| Production planning | تخطيط الإنتاج |
| Production analysis | تحليل الإنتاج |
| Production system | نظام الإنتاج |
| Productivity | إنتاجية |
| Productive potential | احتمال إنتاجي |
| Probability | احتمال |
| Probability distribution | توزيع الاحتمال |
| Production possibility boundary | حد احتمال الإنتاج |
| Problem formulation | صياغة مسائل البرمجة الخطية |
| Project planning | تخطيط المشروعات |
| Probability distribution function | دالة احتمال التوزيع |
| Poisson distribution | توزيع بوسان |
| Price - break models | أنماط التخزين المعتمدة على تغير أسعار المواد المخزونة |
| Pie chart | مخطط دائري |
| Paradox of value | محنة القيمة |
| Product life - cycle theory | نظرية دورة حياة المنتج |

Partial equilibrium analysis

تحليل التوازن الجزئي

Q

Quality control

مراقبة الجودة

Quality control

مراقبة الكمية

Quota sample

عينة مخصصة

Queueing

الانتظار في الطابور

Queueing lines

خطوط الانتظار

R

Regression analysis

تحليل التراجع

Replacement cost

تكلفة الإحلال والتجديد

Research & Development (R&D)

البحث والتطوير

Random numbers

الأرقام العشوائية

Random sample

عينة عشوائية

Risk

مخاطرة

Replenishment cost

تكلفة إعداد الطلبية

Redundant constraints

القيود المتكررة

Returns to scale

عوائد حجم الإنتاج

Real values

قيم حقيقية

Rate of return

معدل العائد

Reserves

احتياطات

S

Stockpiling

تكديس المخزون

Standard deviation

انحراف معياري

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Standard cost | تكلفة قياسية |
| Short run | قصر المدى |
| Sample | عينة |
| Safety stock | مخزون آمان (احتياطي) |
| Simulation | محاكاة |
| Scatter diagram | مخطط الانتشار |
| Slack variable | المتغير الفارق |
| Sensitivity analysis | تحليل الحساسية |
| Stock replenishment | زيادة (تعزير) المخزون |
| Stratified sample | عينة طبقية |
| Standard error | خطأ معياري |
| Shortage cost | تكلفة فقدان المخزون |

T

| | |
|------------------------------|---------------------------------|
| Two - person zero - sum game | المجموع الصفري للاعبين متقابلين |
| Time horizon | الخطوة الزمنية |

U

| | |
|------------------------|------------------------------|
| Unrestricted variables | المتغيرات الغير محدودة المدى |
| Uncertainty | عدم التأكد (أو عدم التيقن) |
| Uniform distribution | توزيع منتظم |

V

| | |
|-----------------------|----------------------|
| Vogel's approximation | طريقة فوجل التقريبية |
|-----------------------|----------------------|

W

| | |
|---------------------|--------------------------|
| Waiting line theory | نظرية نظام خطوط الانتظار |
|---------------------|--------------------------|

APPENDICES

APPENDIX I

CUMULATIVE PROBABILITIES OF THE NORMAL DISTRIBUTION
(Area under the Standardized Normal Curve from $-\infty$ to Z)



| Z | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0 | 0.5000 | 0.5040 | 0.5080 | 0.5120 | 0.5160 | 0.5199 | 0.5239 | 0.5279 | 0.5319 | 0.5359 |
| 0.1 | 0.5399 | 0.5438 | 0.5478 | 0.5517 | 0.5557 | 0.5596 | 0.5636 | 0.5675 | 0.5714 | 0.5753 |
| 0.2 | 0.5793 | 0.5832 | 0.5871 | 0.5910 | 0.5948 | 0.5987 | 0.6026 | 0.6064 | 0.6103 | 0.6141 |
| 0.3 | 0.6179 | 0.6217 | 0.6255 | 0.6293 | 0.6331 | 0.6368 | 0.6406 | 0.6443 | 0.6480 | 0.6517 |
| 0.4 | 0.6554 | 0.6591 | 0.6628 | 0.6664 | 0.6700 | 0.6736 | 0.6772 | 0.6808 | 0.6844 | 0.6879 |
| 0.5 | 0.6915 | 0.6950 | 0.6985 | 0.7019 | 0.7054 | 0.7088 | 0.7124 | 0.7157 | 0.7190 | 0.7224 |
| 0.6 | 0.7257 | 0.7291 | 0.7324 | 0.7357 | 0.7389 | 0.7421 | 0.7454 | 0.7486 | 0.7517 | 0.7549 |
| 0.7 | 0.7580 | 0.7611 | 0.7642 | 0.7673 | 0.7704 | 0.7734 | 0.7764 | 0.7794 | 0.7824 | 0.7854 |
| 0.8 | 0.7883 | 0.7910 | 0.7939 | 0.7967 | 0.7995 | 0.8023 | 0.8051 | 0.8079 | 0.8106 | 0.8133 |
| 0.9 | 0.8159 | 0.8186 | 0.8212 | 0.8238 | 0.8264 | 0.8289 | 0.8315 | 0.8340 | 0.8365 | 0.8389 |
| 1.0 | 0.8413 | 0.8438 | 0.8461 | 0.8485 | 0.8508 | 0.8531 | 0.8554 | 0.8577 | 0.8599 | 0.8621 |
| 1.1 | 0.8643 | 0.8665 | 0.8686 | 0.8708 | 0.8729 | 0.8749 | 0.8770 | 0.8790 | 0.8810 | 0.8829 |
| 1.2 | 0.8849 | 0.8868 | 0.8888 | 0.8907 | 0.8926 | 0.8945 | 0.8964 | 0.8982 | 0.8999 | 0.9016 |
| 1.3 | 0.9032 | 0.9049 | 0.9066 | 0.9082 | 0.9099 | 0.9115 | 0.9131 | 0.9147 | 0.9162 | 0.9177 |
| 1.4 | 0.9192 | 0.9207 | 0.9222 | 0.9236 | 0.9251 | 0.9266 | 0.9281 | 0.9296 | 0.9310 | 0.9324 |
| 1.5 | 0.9332 | 0.9345 | 0.9357 | 0.9370 | 0.9382 | 0.9395 | 0.9408 | 0.9419 | 0.9431 | 0.9441 |
| 1.6 | 0.9452 | 0.9463 | 0.9474 | 0.9484 | 0.9495 | 0.9505 | 0.9515 | 0.9525 | 0.9535 | 0.9545 |
| 1.7 | 0.9554 | 0.9564 | 0.9573 | 0.9582 | 0.9591 | 0.9599 | 0.9608 | 0.9616 | 0.9625 | 0.9633 |
| 1.8 | 0.9641 | 0.9649 | 0.9656 | 0.9664 | 0.9671 | 0.9678 | 0.9686 | 0.9693 | 0.9699 | 0.9706 |
| 1.9 | 0.9713 | 0.9719 | 0.9726 | 0.9732 | 0.9738 | 0.9744 | 0.9750 | 0.9756 | 0.9761 | 0.9767 |
| 2.0 | 0.9772 | 0.9778 | 0.9783 | 0.9788 | 0.9793 | 0.9798 | 0.9803 | 0.9808 | 0.9812 | 0.9817 |
| 2.1 | 0.9821 | 0.9826 | 0.9830 | 0.9834 | 0.9838 | 0.9842 | 0.9846 | 0.9850 | 0.9854 | 0.9857 |
| 2.2 | 0.9861 | 0.9864 | 0.9868 | 0.9871 | 0.9875 | 0.9878 | 0.9881 | 0.9884 | 0.9887 | 0.9890 |
| 2.3 | 0.9893 | 0.9896 | 0.9898 | 0.9901 | 0.9904 | 0.9906 | 0.9909 | 0.9911 | 0.9913 | 0.9916 |
| 2.4 | 0.9918 | 0.9920 | 0.9922 | 0.9925 | 0.9927 | 0.9929 | 0.9931 | 0.9933 | 0.9935 | 0.9936 |
| 2.5 | 0.9938 | 0.9940 | 0.9941 | 0.9943 | 0.9945 | 0.9946 | 0.9948 | 0.9949 | 0.9951 | 0.9952 |
| 2.6 | 0.9953 | 0.9955 | 0.9956 | 0.9957 | 0.9959 | 0.9960 | 0.9961 | 0.9962 | 0.9963 | 0.9964 |
| 2.7 | 0.9965 | 0.9966 | 0.9967 | 0.9968 | 0.9969 | 0.9970 | 0.9971 | 0.9972 | 0.9973 | 0.9974 |
| 2.8 | 0.9974 | 0.9975 | 0.9976 | 0.9977 | 0.9977 | 0.9978 | 0.9979 | 0.9979 | 0.9980 | 0.9981 |
| 2.9 | 0.9981 | 0.9982 | 0.9982 | 0.9983 | 0.9984 | 0.9984 | 0.9985 | 0.9985 | 0.9986 | 0.9986 |
| 3.0 | 0.9987 | 0.9987 | 0.9987 | 0.9988 | 0.9988 | 0.9988 | 0.9989 | 0.9989 | 0.9989 | 0.9989 |
| 3.1 | 0.9990 | 0.9990 | 0.9990 | 0.9991 | 0.9991 | 0.9991 | 0.9992 | 0.9992 | 0.9992 | 0.9992 |
| 3.2 | 0.9993 | 0.9993 | 0.9993 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9995 |
| 3.3 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9998 | 0.9998 | 0.9998 | 0.9998 |
| 3.4 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 |

APPENDIX II

LEARNING CURVE TABLE

| 95% | | | | 90% | | | | 85% | | | |
|-------------|---------------|-------------------------------------|--|-------------|---------------|-------------------------------------|--|-------------|---------------|-------------------------------------|--|
| UNIT NUMBER | TIME FOR UNIT | CUMULATIVE TOTAL TIME FOR ALL UNITS | CUMULATIVE AVERAGE TIME OVER ALL UNITS | UNIT NUMBER | TIME FOR UNIT | CUMULATIVE TOTAL TIME FOR ALL UNITS | CUMULATIVE AVERAGE TIME OVER ALL UNITS | UNIT NUMBER | TIME FOR UNIT | CUMULATIVE TOTAL TIME FOR ALL UNITS | CUMULATIVE AVERAGE TIME OVER ALL UNITS |
| 1 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 2 | 0.9500 | 1.9500 | 0.9750 | 2 | 0.9000 | 1.9000 | 0.9500 | 2 | 0.8500 | 1.8500 | 0.9250 |
| 3 | 0.9025 | 2.8525 | 0.9434 | 3 | 0.8100 | 2.7100 | 0.9033 | 3 | 0.7725 | 2.6225 | 0.8742 |
| 4 | 0.8677 | 3.7202 | 0.9124 | 4 | 0.7310 | 3.4410 | 0.8603 | 4 | 0.6857 | 3.3082 | 0.8265 |
| 5 | 0.8359 | 4.5561 | 0.8848 | 5 | 0.6547 | 4.0957 | 0.8300 | 5 | 0.6337 | 3.9419 | 0.7862 |
| 6 | 0.8063 | 5.3624 | 0.8594 | 6 | 0.5947 | 4.6904 | 0.7900 | 6 | 0.5900 | 4.5319 | 0.7500 |
| 7 | 0.7800 | 6.1424 | 0.8334 | 7 | 0.5426 | 5.2330 | 0.7500 | 7 | 0.5400 | 5.0719 | 0.7143 |
| 8 | 0.7575 | 6.8999 | 0.8171 | 8 | 0.4942 | 5.7272 | 0.7100 | 8 | 0.4900 | 5.5619 | 0.6786 |
| 9 | 0.7366 | 7.6365 | 0.7956 | 9 | 0.4491 | 6.1763 | 0.6700 | 9 | 0.4400 | 6.0019 | 0.6429 |
| 10 | 0.7172 | 8.3537 | 0.7759 | 10 | 0.4066 | 6.5829 | 0.6300 | 10 | 0.4000 | 6.3819 | 0.6071 |
| 11 | 0.6991 | 9.0528 | 0.7569 | 11 | 0.3666 | 6.9495 | 0.5900 | 11 | 0.3600 | 6.7419 | 0.5714 |
| 12 | 0.6822 | 9.7350 | 0.7385 | 12 | 0.3286 | 7.2781 | 0.5500 | 12 | 0.3200 | 7.0619 | 0.5357 |
| 13 | 0.6665 | 10.3915 | 0.7205 | 13 | 0.2926 | 7.5707 | 0.5100 | 13 | 0.2900 | 7.3519 | 0.5000 |
| 14 | 0.6519 | 11.0234 | 0.7029 | 14 | 0.2586 | 7.8293 | 0.4700 | 14 | 0.2500 | 7.6019 | 0.4643 |
| 15 | 0.6384 | 11.6418 | 0.6856 | 15 | 0.2266 | 8.0559 | 0.4300 | 15 | 0.2200 | 7.8219 | 0.4286 |
| 16 | 0.6259 | 12.2477 | 0.6685 | 16 | 0.1966 | 8.2525 | 0.3900 | 16 | 0.1900 | 8.0119 | 0.3929 |
| 17 | 0.6144 | 12.8421 | 0.6516 | 17 | 0.1686 | 8.4211 | 0.3500 | 17 | 0.1600 | 8.1719 | 0.3571 |
| 18 | 0.6030 | 13.4251 | 0.6349 | 18 | 0.1426 | 8.5637 | 0.3100 | 18 | 0.1400 | 8.3119 | 0.3214 |
| 19 | 0.5926 | 13.9977 | 0.6184 | 19 | 0.1186 | 8.6823 | 0.2700 | 19 | 0.1100 | 8.4219 | 0.2857 |
| 20 | 0.5832 | 14.5609 | 0.6021 | 20 | 0.0966 | 8.7889 | 0.2300 | 20 | 0.0900 | 8.5119 | 0.2500 |
| 21 | 0.5747 | 15.1156 | 0.5860 | 21 | 0.0766 | 8.8825 | 0.1900 | 21 | 0.0700 | 8.5819 | 0.2143 |
| 22 | 0.5670 | 15.6626 | 0.5701 | 22 | 0.0586 | 8.9641 | 0.1500 | 22 | 0.0500 | 8.6319 | 0.1786 |
| 23 | 0.5600 | 16.1926 | 0.5544 | 23 | 0.0426 | 9.0341 | 0.1100 | 23 | 0.0400 | 8.6719 | 0.1429 |
| 24 | 0.5537 | 16.7063 | 0.5389 | 24 | 0.0286 | 9.0927 | 0.0700 | 24 | 0.0200 | 8.7019 | 0.1071 |
| 25 | 0.5480 | 17.2043 | 0.5236 | 25 | 0.0166 | 9.1403 | 0.0300 | 25 | 0.0100 | 8.7219 | 0.0714 |
| 26 | 0.5429 | 17.6872 | 0.5084 | 26 | 0.0066 | 9.1779 | 0.0000 | 26 | 0.0000 | 8.7319 | 0.0357 |
| 27 | 0.5383 | 18.1555 | 0.4934 | 27 | | | | 27 | | | |
| 28 | 0.5342 | 18.6097 | 0.4785 | 28 | | | | 28 | | | |
| 29 | 0.5305 | 19.0502 | 0.4637 | 29 | | | | 29 | | | |
| 30 | 0.5272 | 19.4774 | 0.4490 | 30 | | | | 30 | | | |
| 31 | 0.5243 | 19.8917 | 0.4344 | 31 | | | | 31 | | | |
| 32 | 0.5217 | 20.2934 | 0.4199 | 32 | | | | 32 | | | |
| 33 | 0.5193 | 20.6827 | 0.4055 | 33 | | | | 33 | | | |
| 34 | 0.5170 | 21.0597 | 0.3911 | 34 | | | | 34 | | | |
| 35 | 0.5149 | 21.4246 | 0.3767 | 35 | | | | 35 | | | |
| 36 | 0.5129 | 21.7775 | 0.3623 | 36 | | | | 36 | | | |
| 37 | 0.5110 | 22.1185 | 0.3479 | 37 | | | | 37 | | | |
| 38 | 0.5092 | 22.4477 | 0.3335 | 38 | | | | 38 | | | |
| 39 | 0.5075 | 22.7652 | 0.3191 | 39 | | | | 39 | | | |
| 40 | 0.5058 | 23.0710 | 0.3047 | 40 | | | | 40 | | | |
| 41 | 0.5042 | 23.3652 | 0.2903 | 41 | | | | 41 | | | |
| 42 | 0.5027 | 23.6479 | 0.2759 | 42 | | | | 42 | | | |
| 43 | 0.5012 | 23.9191 | 0.2615 | 43 | | | | 43 | | | |
| 44 | 0.5000 | 24.1791 | 0.2471 | 44 | | | | 44 | | | |
| 45 | 0.4988 | 24.4279 | 0.2327 | 45 | | | | 45 | | | |
| 46 | 0.4977 | 24.6656 | 0.2183 | 46 | | | | 46 | | | |
| 47 | 0.4966 | 24.8922 | 0.2039 | 47 | | | | 47 | | | |
| 48 | 0.4956 | 25.1078 | 0.1895 | 48 | | | | 48 | | | |
| 49 | 0.4946 | 25.3124 | 0.1751 | 49 | | | | 49 | | | |
| 50 | 0.4937 | 25.5061 | 0.1607 | 50 | | | | 50 | | | |
| 51 | 0.4928 | 25.6889 | 0.1463 | 51 | | | | 51 | | | |
| 52 | 0.4919 | 25.8608 | 0.1319 | 52 | | | | 52 | | | |
| 53 | 0.4910 | 26.0218 | 0.1175 | 53 | | | | 53 | | | |
| 54 | 0.4902 | 26.1720 | 0.1031 | 54 | | | | 54 | | | |
| 55 | 0.4894 | 26.3114 | 0.0887 | 55 | | | | 55 | | | |
| 56 | 0.4886 | 26.4400 | 0.0743 | 56 | | | | 56 | | | |
| 57 | 0.4878 | 26.5578 | 0.0599 | 57 | | | | 57 | | | |
| 58 | 0.4870 | 26.6648 | 0.0455 | 58 | | | | 58 | | | |
| 59 | 0.4862 | 26.7610 | 0.0311 | 59 | | | | 59 | | | |
| 60 | 0.4854 | 26.8464 | 0.0167 | 60 | | | | 60 | | | |
| 61 | 0.4846 | 26.9210 | 0.0023 | 61 | | | | 61 | | | |
| 62 | 0.4838 | 26.9848 | | 62 | | | | 62 | | | |
| 63 | 0.4830 | 27.0378 | | 63 | | | | 63 | | | |
| 64 | 0.4822 | 27.0800 | | 64 | | | | 64 | | | |
| 65 | 0.4814 | 27.1114 | | 65 | | | | 65 | | | |
| 66 | 0.4806 | 27.1320 | | 66 | | | | 66 | | | |
| 67 | 0.4800 | 27.1418 | | 67 | | | | 67 | | | |
| 68 | 0.4792 | 27.1498 | | 68 | | | | 68 | | | |
| 69 | 0.4784 | 27.1559 | | 69 | | | | 69 | | | |
| 70 | 0.4776 | 27.1599 | | 70 | | | | 70 | | | |
| 71 | 0.4768 | 27.1618 | | 71 | | | | 71 | | | |
| 72 | 0.4760 | 27.1626 | | 72 | | | | 72 | | | |
| 73 | 0.4752 | 27.1622 | | 73 | | | | 73 | | | |
| 74 | 0.4744 | 27.1607 | | 74 | | | | 74 | | | |
| 75 | 0.4736 | 27.1580 | | 75 | | | | 75 | | | |
| 76 | 0.4728 | 27.1541 | | 76 | | | | 76 | | | |
| 77 | 0.4720 | 27.1490 | | 77 | | | | 77 | | | |
| 78 | 0.4712 | 27.1427 | | 78 | | | | 78 | | | |
| 79 | 0.4704 | 27.1352 | | 79 | | | | 79 | | | |
| 80 | 0.4696 | 27.1265 | | 80 | | | | 80 | | | |
| 81 | 0.4688 | 27.1166 | | 81 | | | | 81 | | | |
| 82 | 0.4680 | 27.1055 | | 82 | | | | 82 | | | |
| 83 | 0.4672 | 27.0932 | | 83 | | | | 83 | | | |
| 84 | 0.4664 | 27.0797 | | 84 | | | | 84 | | | |
| 85 | 0.4656 | 27.0650 | | 85 | | | | 85 | | | |
| 86 | 0.4648 | 27.0491 | | 86 | | | | 86 | | | |
| 87 | 0.4640 | 27.0319 | | 87 | | | | 87 | | | |
| 88 | 0.4632 | 27.0135 | | 88 | | | | 88 | | | |
| 89 | 0.4624 | 26.9939 | | 89 | | | | 89 | | | |
| 90 | 0.4616 | 26.9732 | | 90 | | | | 90 | | | |
| 91 | 0.4608 | 26.9514 | | 91 | | | | 91 | | | |
| 92 | 0.4600 | 26.9284 | | 92 | | | | 92 | | | |
| 93 | 0.4592 | 26.9042 | | 93 | | | | 93 | | | |
| 94 | 0.4584 | 26.8788 | | 94 | | | | 94 | | | |
| 95 | 0.4576 | 26.8522 | | 95 | | | | 95 | | | |
| 96 | 0.4568 | 26.8244 | | 96 | | | | 96 | | | |
| 97 | 0.4560 | 26.7954 | | 97 | | | | 97 | | | |
| 98 | 0.4552 | 26.7652 | | 98 | | | | 98 | | | |
| 99 | 0.4544 | 26.7338 | | 99 | | | | 99 | | | |
| 100 | 0.4536 | 26.7012 | | 100 | | | | 100 | | | |

80%

| UNIT NUMBER | TIME FOR UNIT | CUMULATIVE TOTAL TIME FOR ALL UNITS | CUMULATIVE AVERAGE TIME OVER ALL UNITS |
|----------------|---------------------|--|--|
| 1 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 2 | 0.8000 | 1.8000 | 0.9000 |
| 4 | 0.6400 | 3.1421 | 0.7855 |
| 5 | 0.5956 | 3.7378 | 0.7475 |
| 7 | 0.5345 | 4.8340 | 0.6906 |
| 10 | 0.4765 | 6.3154 | 0.6315 |
| 15 | 0.4182 | 8.5105 | 0.5674 |
| 20 | 0.3812 | 10.4849 | 0.5242 |
| 25 | 0.3548 | 12.3086 | 0.4923 |
| 30 | 0.3346 | 14.0199 | 0.4673 |
| 40 | 0.3050 | 17.1935 | 0.4298 |
| 50 | 0.2838 | 20.1217 | 0.4024 |
| 70 | 0.2547 | 25.4708 | 0.3639 |
| 100 | 0.2271 | 32.6508 | 0.3265 |
| 200 | 0.1816 | 52.7200 | 0.2636 |
| 300 | 0.1594 | 69.6634 | 0.2322 |
| 400 | 0.1453 | 84.8487 | 0.2121 |
| 500 | 0.1352 | 98.8472 | 0.1977 |
| 700 | 0.1214 | 124.3984 | 0.1777 |
| 1,000 | 0.1082 | 158.6709 | 0.1587 |
| 1,500 | 0.0950 | 209.1580 | 0.1394 |
| 2,000 | 0.0866 | 254.3996 | 0.1272 |
| 2,500 | 0.0806 | 296.1018 | 0.1184 |
| 3,000 | 0.0760 | 355.1843 | 0.1117 |
| 3,500 | 0.0723 | 372.2146 | 0.1063 |
| 4,000 | 0.0692 | 407.5742 | 0.1019 |
| 5,000 | 0.0644 | 474.3001 | 0.0949 |

75%

| UNIT NUMBER | TIME FOR UNIT | CUMULATIVE TOTAL TIME FOR ALL UNITS | CUMULATIVE AVERAGE TIME OVER ALL UNITS |
|----------------|---------------------|--|--|
| 1 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 2 | 0.7500 | 1.7500 | 0.8750 |
| 4 | 0.5625 | 2.9463 | 0.7366 |
| 5 | 0.5127 | 3.4591 | 0.6918 |
| 7 | 0.4459 | 4.3837 | 0.6258 |
| 10 | 0.3846 | 5.5886 | 0.5589 |
| 15 | 0.3250 | 7.3190 | 0.4879 |
| 20 | 0.2884 | 8.8284 | 0.4414 |
| 25 | 0.2629 | 10.1907 | 0.4076 |
| 30 | 0.2437 | 11.4451 | 0.3815 |
| 40 | 0.2163 | 13.7232 | 0.3531 |
| 50 | 0.1972 | 15.7761 | 0.3155 |
| 70 | 0.1715 | 19.4296 | 0.2776 |
| 100 | 0.1479 | 24.1786 | 0.2418 |
| 200 | 0.1109 | 36.8007 | 0.1840 |
| 300 | 0.0937 | 46.9427 | 0.1565 |
| 400 | 0.0832 | 55.7577 | 0.1394 |
| 500 | 0.0758 | 63.6753 | 0.1274 |
| 700 | 0.0659 | 77.7693 | 0.1111 |
| 1,000 | 0.0569 | 96.0728 | 0.0961 |
| 1,500 | 0.0481 | 122.0917 | 0.0814 |
| 2,000 | 0.0427 | 144.6762 | 0.0723 |
| 2,500 | 0.0389 | 165.0079 | 0.0660 |
| 3,000 | 0.0360 | 183.7078 | 0.0612 |
| 3,500 | 0.0338 | 201.1512 | 0.0575 |
| 4,000 | 0.0320 | 217.5865 | 0.0544 |
| 5,000 | 0.0292 | 247.5119 | 0.0495 |

| Appendix B (continued) | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1.0000 | 0.9999 | 0.9998 | 0.9997 | 0.9996 | 0.9995 | 0.9994 | 0.9993 | 0.9992 | 0.9991 | 0.9990 |
| 2.2 | 0.111 | 0.355 | 0.621 | 0.810 | 0.928 | 0.975 | 0.993 | 0.998 | 0.999 | 1.000 |
| 3.4 | 0.091 | 0.308 | 0.570 | 0.779 | 0.904 | 0.964 | 0.988 | 0.997 | 0.999 | 1.000 |
| 4.6 | 0.074 | 0.267 | 0.518 | 0.736 | 0.877 | 0.951 | 0.983 | 0.995 | 0.999 | 1.000 |
| 5.8 | 0.061 | 0.231 | 0.469 | 0.692 | 0.848 | 0.935 | 0.976 | 0.992 | 0.998 | 0.999 |
| 7.0 | 0.050 | 0.199 | 0.423 | 0.647 | 0.815 | 0.916 | 0.966 | 0.988 | 0.996 | 0.999 |
| 8.2 | 0.041 | 0.171 | 0.380 | 0.603 | 0.780 | 0.895 | 0.955 | 0.981 | 0.994 | 0.998 |
| 9.4 | 0.033 | 0.147 | 0.340 | 0.558 | 0.744 | 0.871 | 0.942 | 0.977 | 0.992 | 0.997 |
| 10.6 | 0.027 | 0.126 | 0.301 | 0.515 | 0.706 | 0.844 | 0.927 | 0.969 | 0.988 | 0.996 |
| 11.8 | 0.022 | 0.107 | 0.269 | 0.471 | 0.668 | 0.816 | 0.909 | 0.960 | 0.984 | 0.994 |
| 13.0 | 0.018 | 0.092 | 0.238 | 0.433 | 0.629 | 0.785 | 0.889 | 0.940 | 0.979 | 0.992 |
| 14.2 | 0.015 | 0.078 | 0.210 | 0.395 | 0.590 | 0.753 | 0.867 | 0.916 | 0.972 | 0.989 |
| 15.4 | 0.012 | 0.066 | 0.185 | 0.359 | 0.551 | 0.720 | 0.844 | 0.921 | 0.964 | 0.985 |
| 16.6 | 0.010 | 0.056 | 0.163 | 0.326 | 0.511 | 0.686 | 0.818 | 0.905 | 0.955 | 0.980 |
| 17.8 | 0.008 | 0.048 | 0.145 | 0.294 | 0.476 | 0.651 | 0.791 | 0.887 | 0.944 | 0.975 |
| 19.0 | 0.007 | 0.040 | 0.125 | 0.265 | 0.440 | 0.616 | 0.762 | 0.867 | 0.932 | 0.968 |
| 20.2 | 0.006 | 0.034 | 0.109 | 0.238 | 0.406 | 0.581 | 0.732 | 0.845 | 0.918 | 0.960 |
| 21.4 | 0.005 | 0.029 | 0.093 | 0.213 | 0.373 | 0.546 | 0.702 | 0.822 | 0.901 | 0.951 |
| 22.6 | 0.004 | 0.024 | 0.082 | 0.191 | 0.342 | 0.512 | 0.670 | 0.797 | 0.886 | 0.941 |
| 23.8 | 0.003 | 0.021 | 0.072 | 0.170 | 0.315 | 0.478 | 0.638 | 0.771 | 0.867 | 0.929 |
| 25.0 | 0.002 | 0.017 | 0.062 | 0.151 | 0.285 | 0.446 | 0.606 | 0.744 | 0.847 | 0.916 |
| 26.2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 27.4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 28.6 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 29.8 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 31.0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 32.2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 33.4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 34.6 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 35.8 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 37.0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 38.2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 39.4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 40.6 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 41.8 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 43.0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 44.2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 45.4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 46.6 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 47.8 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 49.0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 50.2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 51.4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 52.6 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 53.8 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 55.0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 56.2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 57.4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 58.6 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 59.8 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 61.0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 62.2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 63.4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 64.6 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 65.8 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 67.0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 68.2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 69.4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 70.6 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 71.8 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 73.0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 74.2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 75.4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 76.6 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 77.8 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 79.0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 80.2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 81.4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 82.6 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 83.8 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 85.0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 86.2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 87.4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 88.6 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 89.8 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 91.0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 92.2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 93.4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 94.6 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 95.8 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 97.0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 98.2 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 99.4 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 100.6 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

APPENDIX III

CUMULATIVE POISSON PROBABILITIES $P(X \leq x | \lambda) = \sum_{n=0}^x \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!}$



| $\lambda \backslash x$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| 0.02 | 0.980 | 1.000 | | | | | | | | |
| 0.04 | 0.961 | 0.999 | 1.000 | | | | | | | |
| 0.06 | 0.942 | 0.998 | 1.000 | | | | | | | |
| 0.08 | 0.923 | 0.997 | 1.000 | | | | | | | |
| 0.10 | 0.905 | 0.995 | 1.000 | | | | | | | |
| 0.15 | 0.861 | 0.990 | 0.999 | 1.000 | | | | | | |
| 0.20 | 0.819 | 0.982 | 0.999 | 1.000 | | | | | | |
| 0.25 | 0.779 | 0.974 | 0.998 | 1.000 | | | | | | |
| 0.30 | 0.741 | 0.963 | 0.996 | 1.000 | | | | | | |
| 0.35 | 0.705 | 0.951 | 0.994 | 1.000 | | | | | | |
| 0.40 | 0.670 | 0.938 | 0.992 | 0.999 | 1.000 | | | | | |
| 0.45 | 0.638 | 0.925 | 0.989 | 0.999 | 1.000 | | | | | |
| 0.50 | 0.607 | 0.910 | 0.986 | 0.998 | 1.000 | | | | | |
| 0.55 | 0.577 | 0.894 | 0.982 | 0.998 | 1.000 | | | | | |
| 0.60 | 0.549 | 0.878 | 0.977 | 0.997 | 1.000 | | | | | |
| 0.65 | 0.522 | 0.861 | 0.972 | 0.996 | 0.999 | 1.000 | | | | |
| 0.70 | 0.497 | 0.844 | 0.966 | 0.994 | 0.999 | 1.000 | | | | |
| 0.75 | 0.473 | 0.827 | 0.959 | 0.993 | 0.999 | 1.000 | | | | |
| 0.80 | 0.449 | 0.809 | 0.953 | 0.991 | 0.999 | 1.000 | | | | |
| 0.85 | 0.427 | 0.791 | 0.945 | 0.989 | 0.998 | 1.000 | | | | |
| 0.90 | 0.407 | 0.772 | 0.937 | 0.987 | 0.998 | 1.000 | | | | |
| 0.95 | 0.387 | 0.754 | 0.929 | 0.984 | 0.997 | 1.000 | | | | |
| 1.00 | 0.368 | 0.736 | 0.920 | 0.981 | 0.996 | 0.999 | 1.000 | | | |
| 1.10 | 0.333 | 0.699 | 0.900 | 0.974 | 0.995 | 0.999 | 1.000 | | | |
| 1.20 | 0.301 | 0.663 | 0.879 | 0.966 | 0.992 | 0.998 | 1.000 | | | |
| 1.30 | 0.271 | 0.627 | 0.857 | 0.957 | 0.989 | 0.998 | 1.000 | | | |
| 1.40 | 0.242 | 0.592 | 0.833 | 0.946 | 0.986 | 0.997 | 0.999 | 1.000 | | |
| 1.50 | 0.213 | 0.558 | 0.809 | 0.934 | 0.981 | 0.996 | 0.999 | 1.000 | | |
| 1.60 | 0.185 | 0.525 | 0.783 | 0.921 | 0.976 | 0.994 | 0.999 | 1.000 | | |
| 1.70 | 0.158 | 0.493 | 0.757 | 0.907 | 0.970 | 0.992 | 0.998 | 1.000 | | |
| 1.80 | 0.135 | 0.463 | 0.731 | 0.891 | 0.964 | 0.990 | 0.997 | 0.999 | 1.000 | |
| 1.90 | 0.115 | 0.434 | 0.704 | 0.875 | 0.956 | 0.987 | 0.997 | 0.999 | 1.000 | |
| 2.00 | 0.115 | 0.406 | 0.677 | 0.857 | 0.947 | 0.981 | 0.995 | 0.999 | 1.000 | |

Appendix III (continued)

| 100 up | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6.2 | 0.002 | 0.015 | 0.054 | 0.134 | 0.259 | 0.414 | 0.574 | 0.716 | 0.826 | 0.902 |
| 6.4 | 0.002 | 0.012 | 0.046 | 0.119 | 0.235 | 0.384 | 0.542 | 0.687 | 0.803 | 0.886 |
| 6.6 | 0.001 | 0.010 | 0.040 | 0.105 | 0.213 | 0.355 | 0.511 | 0.658 | 0.788 | 0.889 |
| 6.8 | 0.001 | 0.009 | 0.034 | 0.093 | 0.192 | 0.327 | 0.480 | 0.628 | 0.755 | 0.858 |
| 7.0 | 0.001 | 0.007 | 0.030 | 0.082 | 0.173 | 0.301 | 0.450 | 0.599 | 0.729 | 0.830 |
| 7.2 | 0.001 | 0.006 | 0.025 | 0.072 | 0.156 | 0.276 | 0.420 | 0.569 | 0.703 | 0.816 |
| 7.4 | 0.001 | 0.005 | 0.022 | 0.063 | 0.140 | 0.253 | 0.392 | 0.539 | 0.676 | 0.788 |
| 7.6 | 0.001 | 0.004 | 0.019 | 0.055 | 0.125 | 0.231 | 0.365 | 0.510 | 0.648 | 0.765 |
| 7.8 | 0.000 | 0.004 | 0.016 | 0.048 | 0.112 | 0.210 | 0.338 | 0.481 | 0.620 | 0.741 |
| 8.0 | 0.000 | 0.003 | 0.014 | 0.042 | 0.100 | 0.191 | 0.313 | 0.453 | 0.593 | 0.717 |
| 8.5 | 0.000 | 0.002 | 0.009 | 0.030 | 0.074 | 0.150 | 0.256 | 0.386 | 0.523 | 0.653 |
| 9.0 | 0.000 | 0.001 | 0.006 | 0.021 | 0.055 | 0.116 | 0.207 | 0.324 | 0.456 | 0.587 |
| 9.5 | 0.000 | 0.001 | 0.004 | 0.015 | 0.040 | 0.089 | 0.165 | 0.269 | 0.397 | 0.522 |
| 10.0 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.010 | 0.029 | 0.067 | 0.130 | 0.220 | 0.333 | 0.458 |
| | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 6.2 | 0.949 | 0.975 | 0.989 | 0.995 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | | | |
| 6.4 | 0.939 | 0.969 | 0.986 | 0.994 | 0.997 | 0.999 | 1.000 | | | |
| 6.6 | 0.927 | 0.963 | 0.982 | 0.992 | 0.997 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | | |
| 6.8 | 0.915 | 0.955 | 0.978 | 0.990 | 0.996 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | | |
| 7.0 | 0.901 | 0.947 | 0.973 | 0.987 | 0.996 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | | |
| 7.2 | 0.887 | 0.937 | 0.965 | 0.984 | 0.993 | 0.997 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | |
| 7.4 | 0.871 | 0.926 | 0.961 | 0.980 | 0.991 | 0.996 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | |
| 7.6 | 0.854 | 0.915 | 0.954 | 0.976 | 0.989 | 0.995 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | |
| 7.8 | 0.835 | 0.902 | 0.945 | 0.971 | 0.986 | 0.993 | 0.997 | 0.999 | 1.000 | |
| 8.0 | 0.816 | 0.888 | 0.936 | 0.966 | 0.983 | 0.992 | 0.996 | 0.998 | 0.999 | 1.000 |
| 8.5 | 0.763 | 0.849 | 0.909 | 0.949 | 0.973 | 0.986 | 0.993 | 0.997 | 0.999 | 0.999 |
| 9.0 | 0.706 | 0.803 | 0.876 | 0.926 | 0.959 | 0.978 | 0.989 | 0.995 | 0.998 | 0.999 |
| 9.5 | 0.645 | 0.752 | 0.836 | 0.898 | 0.940 | 0.967 | 0.982 | 0.991 | 0.996 | 0.998 |
| 10.0 | 0.583 | 0.697 | 0.792 | 0.864 | 0.917 | 0.951 | 0.973 | 0.986 | 0.993 | 0.997 |
| | 20 | 21 | 22 | | | | | | | |
| 8.5 | 1.000 | | | | | | | | | |
| 9.0 | 1.000 | | | | | | | | | |
| 9.5 | 0.999 | 1.000 | | | | | | | | |
| 10.0 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | | | | | | | |

Appendix B (continued)

| λ (mm) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10.5 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.007 | 0.021 | 0.050 | 0.102 | 0.179 | 0.279 | 0.397 |
| 11.0 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.005 | 0.015 | 0.038 | 0.079 | 0.143 | 0.232 | 0.341 |
| 11.5 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.011 | 0.028 | 0.060 | 0.114 | 0.191 | 0.289 |
| 12.0 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.008 | 0.020 | 0.046 | 0.090 | 0.155 | 0.242 |
| 12.5 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.005 | 0.015 | 0.035 | 0.070 | 0.125 | 0.201 |
| 13.0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.004 | 0.011 | 0.026 | 0.054 | 0.100 | 0.166 |
| 13.5 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.008 | 0.019 | 0.041 | 0.079 | 0.135 |
| 14.0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.006 | 0.014 | 0.032 | 0.062 | 0.109 |
| 14.5 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.004 | 0.010 | 0.024 | 0.048 | 0.088 |
| 15.0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.008 | 0.018 | 0.037 | 0.070 |
| | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 10.5 | 0.521 | 0.639 | 0.742 | 0.825 | 0.888 | 0.932 | 0.960 | 0.978 | 0.988 | 0.994 |
| 11.0 | 0.460 | 0.579 | 0.689 | 0.781 | 0.854 | 0.907 | 0.944 | 0.968 | 0.982 | 0.991 |
| 11.5 | 0.402 | 0.520 | 0.633 | 0.733 | 0.815 | 0.878 | 0.924 | 0.954 | 0.974 | 0.986 |
| 12.0 | 0.347 | 0.462 | 0.576 | 0.682 | 0.772 | 0.844 | 0.899 | 0.937 | 0.963 | 0.979 |
| 12.5 | 0.297 | 0.406 | 0.519 | 0.628 | 0.725 | 0.806 | 0.869 | 0.916 | 0.948 | 0.967 |
| 13.0 | 0.252 | 0.353 | 0.463 | 0.571 | 0.675 | 0.764 | 0.835 | 0.890 | 0.930 | 0.957 |
| 13.5 | 0.211 | 0.304 | 0.409 | 0.518 | 0.623 | 0.718 | 0.798 | 0.861 | 0.908 | 0.942 |
| 14.0 | 0.176 | 0.260 | 0.358 | 0.464 | 0.570 | 0.669 | 0.756 | 0.827 | 0.883 | 0.923 |
| 14.5 | 0.145 | 0.220 | 0.311 | 0.413 | 0.518 | 0.619 | 0.713 | 0.790 | 0.853 | 0.901 |
| 15.0 | 0.118 | 0.185 | 0.268 | 0.363 | 0.466 | 0.568 | 0.664 | 0.749 | 0.819 | 0.875 |
| | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 10.5 | 0.997 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | | | | | | |
| 11.0 | 0.995 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | | | | | | |
| 11.5 | 0.992 | 0.996 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | | | | | |
| 12.0 | 0.988 | 0.994 | 0.997 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | | | | |
| 12.5 | 0.983 | 0.991 | 0.995 | 0.998 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | | | |
| 13.0 | 0.975 | 0.986 | 0.992 | 0.996 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | | | |
| 13.5 | 0.965 | 0.980 | 0.989 | 0.994 | 0.997 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | | |
| 14.0 | 0.952 | 0.971 | 0.983 | 0.991 | 0.995 | 0.997 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | |
| 14.5 | 0.936 | 0.960 | 0.976 | 0.986 | 0.992 | 0.996 | 0.998 | 0.999 | 0.999 | 1.000 |
| 15.0 | 0.917 | 0.947 | 0.967 | 0.981 | 0.989 | 0.994 | 0.997 | 0.998 | 0.999 | 1.000 |

Appendix III (continued)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|
| 16 | 0.000 | 0.001 | 0.004 | 0.010 | 0.022 | 0.043 | 0.077 | 0.127 | 0.193 | 0.273 | | |
| 17 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.005 | 0.013 | 0.026 | 0.049 | 0.085 | 0.135 | 0.201 | | |
| 18 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.007 | 0.015 | 0.030 | 0.055 | 0.092 | 0.143 | | |
| 19 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.004 | 0.009 | 0.018 | 0.035 | 0.061 | 0.098 | | |
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.005 | 0.011 | 0.021 | 0.039 | 0.066 | | |
| 21 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.006 | 0.013 | 0.025 | 0.043 | | |
| 22 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.004 | 0.008 | 0.015 | 0.028 | | |
| 23 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.004 | 0.009 | 0.017 | | |
| 24 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.005 | 0.011 | | |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.003 | 0.006 | | |
| 14 | 05 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | | |
| 16 | 0.368 | 0.467 | 0.566 | 0.659 | 0.742 | 0.812 | 0.868 | 0.911 | 0.942 | 0.963 | | |
| 17 | 0.291 | 0.371 | 0.448 | 0.514 | 0.555 | 0.576 | 0.595 | 0.611 | 0.625 | 0.637 | | |
| 18 | 0.208 | 0.287 | 0.375 | 0.469 | 0.562 | 0.651 | 0.731 | 0.799 | 0.855 | 0.899 | | |
| 19 | 0.150 | 0.215 | 0.292 | 0.378 | 0.469 | 0.561 | 0.647 | 0.725 | 0.793 | 0.849 | | |
| 20 | 0.105 | 0.157 | 0.221 | 0.297 | 0.381 | 0.470 | 0.559 | 0.644 | 0.721 | 0.787 | | |
| 21 | 0.077 | 0.111 | 0.163 | 0.227 | 0.302 | 0.384 | 0.471 | 0.558 | 0.640 | 0.716 | | |
| 22 | 0.058 | 0.077 | 0.117 | 0.169 | 0.232 | 0.306 | 0.387 | 0.472 | 0.556 | 0.637 | | |
| 23 | 0.039 | 0.052 | 0.082 | 0.123 | 0.175 | 0.238 | 0.310 | 0.389 | 0.472 | 0.555 | | |
| 24 | 0.020 | 0.034 | 0.056 | 0.087 | 0.128 | 0.180 | 0.243 | 0.314 | 0.392 | 0.471 | | |
| 25 | 0.012 | 0.022 | 0.038 | 0.060 | 0.092 | 0.134 | 0.185 | 0.247 | 0.318 | 0.394 | | |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | | |
| 16 | 0.975 | 0.987 | 0.993 | 0.996 | 0.998 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | | | | |
| 17 | 0.950 | 0.975 | 0.985 | 0.991 | 0.995 | 0.997 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | | | |
| 18 | 0.915 | 0.955 | 0.972 | 0.983 | 0.990 | 0.994 | 0.997 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | | |
| 19 | 0.883 | 0.927 | 0.951 | 0.969 | 0.980 | 0.988 | 0.993 | 0.996 | 0.998 | 0.999 | | |
| 20 | 0.843 | 0.888 | 0.922 | 0.948 | 0.966 | 0.978 | 0.987 | 0.992 | 0.995 | 0.997 | | |
| 21 | 0.782 | 0.838 | 0.883 | 0.917 | 0.944 | 0.963 | 0.976 | 0.985 | 0.991 | 0.994 | | |
| 22 | 0.712 | 0.777 | 0.832 | 0.877 | 0.913 | 0.940 | 0.959 | 0.973 | 0.983 | 0.989 | | |
| 23 | 0.635 | 0.708 | 0.772 | 0.827 | 0.873 | 0.908 | 0.936 | 0.956 | 0.971 | 0.981 | | |
| 24 | 0.554 | 0.632 | 0.704 | 0.768 | 0.823 | 0.868 | 0.904 | 0.932 | 0.953 | 0.969 | | |
| 25 | 0.473 | 0.553 | 0.629 | 0.700 | 0.763 | 0.818 | 0.863 | 0.900 | 0.929 | 0.950 | | |
| 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | | | |
| 19 | 0.999 | 1.000 | | | | | | | | | | |
| 20 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | | | | | | | | | |
| 21 | 0.997 | 0.996 | 0.994 | 0.992 | 1.000 | | | | | | | |
| 22 | 0.994 | 0.994 | 0.992 | 0.990 | 0.999 | 1.000 | | | | | | |
| 23 | 0.992 | 0.991 | 0.990 | 0.987 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | | | | | |
| 24 | 0.989 | 0.988 | 0.986 | 0.985 | 0.997 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | | | | |
| 25 | 0.986 | 0.985 | 0.983 | 0.981 | 0.994 | 0.997 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | 1.000 | | |

RANDOM DIGITS

| | | | | |
|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 52 01 77 67 | 75 24 63 38 | 49 35 24 94 | 21 81 63 44 | 29 27 49 45 |
| 00 50 54 31 | 64 05 18 81 | 54 99 76 54 | 38 55 37 63 | 02 29 16 65 |
| 45 29 96 34 | 26 89 80 93 | 96 31 53 07 | 28 60 26 55 | 08 03 36 06 |
| 08 54 02 00 | 45 42 72 68 | 80 80 83 91 | 40 05 64 18 | 41 62 76 59 |
| 99 46 73 48 | 01 39 09 22 | 05 88 52 36 | 38 21 45 98 | 17 17 68 33 |
| 48 11 76 74 | 87 37 92 52 | 17 90 05 97 | 08 92 00 48 | 19 92 91 70 |
| 12 43 56 35 | 20 11 74 52 | 23 46 14 06 | 05 08 23 41 | 40 38 97 32 |
| 35 09 98 17 | 01 75 87 53 | 56 54 14 30 | 22 20 64 13 | 62 38 85 79 |
| 91 62 88 03 | 19 47 60 72 | 15 51 49 38 | 70 72 58 15 | 49 12 56 24 |
| 89 32 05 05 | 36 16 81 08 | 86 43 19 94 | 20 73 17 90 | 27 38 84 35 |
| 35 44 13 18 | 45 24 02 84 | 08 62 48 26 | 58 26 05 27 | 50 07 39 98 |
| 37 54 87 30 | 41 94 15 09 | 18 51 62 32 | 21 15 94 66 | 77 56 78 51 |
| 94 62 46 11 | 96 38 27 07 | 95 10 04 06 | 92 74 59 73 | 71 17 78 17 |
| 00 38 75 95 | 71 96 12 82 | 75 24 91 40 | 70 14 66 70 | 60 91 10 62 |
| 77 93 89 19 | 98 14 50 65 | 63 33 25 37 | 52 28 25 62 | 47 83 41 13 |
| 88 81 45 17 | 77 55 73 22 | 02 94 39 02 | 49 91 45 21 | 68 47 92 76 |
| 36 04 09 03 | 80 99 33 71 | 17 84 56 11 | 33 69 45 98 | 26 94 03 68 |
| 88 46 12 33 | 52 07 98 48 | 66 44 98 83 | 10 48 19 49 | 85 15 74 79 |
| 15 62 08 99 | 31 24 96 47 | 32 47 79 28 | 55 07 37 42 | 11 10 00 20 |
| 01 84 87 69 | 87 63 79 19 | 07 49 41 38 | 60 64 93 29 | 16 50 53 44 |
| 09 73 23 33 | 60 97 09 34 | 10 94 05 58 | 19 69 04 46 | 26 45 74 72 |
| 54 20 48 05 | 29 40 52 42 | 72 56 82 48 | 47 44 52 66 | 45 27 07 94 |
| 42 26 89 53 | 18 47 54 06 | 74 67 00 78 | 55 72 85 73 | 67 89 75 43 |
| 01 90 25 29 | 90 36 47 64 | 76 66 79 51 | 48 11 62 13 | 72 34 80 87 |
| 80 79 99 70 | 93 78 56 13 | 82 60 89 28 | 52 37 83 17 | 73 50 88 98 |
| 06 57 47 17 | 73 03 91 71 | 04 77 69 74 | 65 33 71 24 | 76 52 81 34 |
| 06 01 08 05 | 21 11 57 82 | 31 82 23 74 | 23 28 72 95 | 64 99 47 42 |
| 26 97 76 02 | 45 52 16 42 | 23 60 02 10 | 90 10 33 73 | 19 64 50 93 |
| 57 33 21 35 | 76 62 11 39 | 93 68 72 03 | 78 56 52 01 | 09 37 67 07 |
| 79 64 57 53 | 96 29 77 88 | 42 75 67 88 | 70 61 74 29 | 80 15 73 61 |
| 99 90 88 96 | 94 75 08 99 | 16 28 35 54 | 85 39 41 18 | 34 07 27 68 |
| 43 54 85 81 | 53 14 03 33 | 29 73 41 35 | 97 11 89 63 | 45 57 18 24 |
| 15 12 33 87 | 57 60 04 08 | 97 92 65 75 | 84 96 28 52 | 02 05 16 56 |
| 86 10 25 91 | 96 64 48 94 | 84 07 46 97 | 20 82 66 95 | 05 32 54 70 |
| 01 02 46 74 | 43 65 17 70 | 21 95 25 63 | 05 01 45 11 | 03 52 96 47 |
| 79 01 71 19 | 65 39 43 95 | 92 43 37 29 | 80 95 50 41 | 67 15 48 76 |
| 33 51 29 69 | 82 39 61 01 | 36 78 38 48 | 20 61 61 04 | 80 52 40 37 |
| 38 17 15 39 | 91 19 04 25 | 62 24 46 31 | 15 95 33 47 | 20 40 25 60 |
| 29 53 68 70 | 03 07 11 20 | 86 84 87 67 | 88 67 67 43 | 31 13 11 65 |
| 58 40 44 81 | 26 25 22 96 | 93 59 14 16 | 98 95 11 68 | 03 23 64 53 |
| 39 09 47 34 | 61 96 27 93 | 86 25 10 25 | 65 81 33 98 | 49 73 41 70 |
| 88 69 51 19 | 54 69 28 23 | 11 96 38 96 | 86 74 90 94 | 30 34 26 14 |
| 25 01 62 52 | 77 97 45 00 | 35 13 54 62 | 73 05 38 52 | 66 57 48 88 |
| 74 85 22 05 | 13 02 12 48 | 60 94 97 80 | 28 46 82 87 | 45 35 75 48 |
| 05 43 56 14 | 93 91 08 36 | 28 14 40 27 | 60 93 52 03 | 80 83 42 82 |
| 52 52 75 80 | 86 74 31 71 | 56 70 70 07 | 14 40 56 86 | 17 46 85 09 |
| 56 12 71 92 | 18 74 39 24 | 41 66 08 00 | 19 40 82 77 | 17 72 70 80 |
| 09 97 33 34 | 66 67 43 68 | 41 92 15 85 | 186 28 87 81 | 77 46 27 22 |
| 32 30 75 75 | 59 04 79 00 | 66 79 45 43 | 86 50 75 84 | 64 25 22 91 |
| 10 51 82 16 | 01 34 03 54 | 88 88 15 53 | 87 51 76 49 | 14 22 96 85 |

منتدى سور الأزبكية

WWW.BOOKS4ALL.NET

<https://twitter.com/SourAlAzbakya>

<https://www.facebook.com/books4all.net>